



серия «ВЫСШЕЕ ОБРАЗОВАНИЕ»

---

основана в 1996 г.

**В. Г. ГОРОХОВ**

**КОНЦЕПЦИИ  
СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ  
И ТЕХНИКИ**

УЧЕБНОЕ ПОСОБИЕ

Рекомендовано Министерством общего  
и профессионального образования  
Российской Федерации в качестве учебного пособия  
для студентов высших учебных заведений

Москва  
ИНФРА-М  
2000

УДК 5(075.8)

ББК 20 я 73

Г 67

Г 67 **Горохов В.Г.** Концепции современного естествознания и техники: Учебное пособие. — М.: ИНФРА-М, 2000. — 608 с.

ISBN 5-86225-918-X

Концепции современного естествознания невозможно понять не только без тщательного анализа истории науки, но и без изучения их связи с развивающейся техникой. Не случайно сегодня речь идет о едином научно-техническом развитии. Для осознания тенденций и проблем этого развития требуется разрушить догматичность и технократичность мышления ученого и инженера и сформировать комплексный системный подход к научному исследованию и инженерному проектированию. Это и является целью постоянной философско-методической рефлексии исследовательской и проектировочной деятельности. Именно под таким углом зрения в данной книге критически рассматриваются история науки и техники, их современные концепции, проблемы и тенденции развития, а также различные способы их осознания в философии науки и техники.

Для студентов и аспирантов технических и гуманитарных вузов, а также для философов, специализирующихся в области философии науки и техники.

ISBN 5-86225-918-X

ББК 20 я 73

© Горохов В.Г., 1999

© ИНФРА-М, 1999

---

Редактор *Т.Г. Берзина*  
Корректор *М.В. Литвинова*  
Компьютерная верстка *Л.Д. Афанасьевой*  
Художественное оформление «Ин-Арт»

ЛР № 070824 от 21.01.93

Подписано в печать 05.11.99. Формат 60х90/16.

Бумага офсетная. Усл.-печ. л. 38,0.

Печать офсетная. Тираж 6000 экз.

Цена договорная. Заказ № 234

ISBN 5-86225-918-X



9 785862 259186

Издательский Дом «ИНФРА-М»

127214 Москва, Дмитровское шоссе, 107.

Тел.: (095) 485-74-00; 485-70-63.

Факс: (095) 485-53-18.

Робофакс (095) 485-54-44; E-mail: books@infra-m.ru

www.infra-m.ru

Отпечатано с готового оригинал-макета в типографии ИПО «Полигран»  
125438, Москва, Пакгаузное ш. 1

# РАЗДЕЛ 1

## РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ. ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ

---

---

### Глава 1. ЧТО ТАКОЕ НАУКА? НАУКА КАК ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЯ И УПРАВЛЕНИЯ

Вопрос о том, что представляет собой наука, чем она отличается от других сфер современной культуры, например от техники или искусства, какова ее структура и роль в обществе, является одним из центральных мест в рассуждениях философов XX в. — и именно потому, что сама НАУКА в этом столетии приобрела решающее значение в жизни общества. Степень ее развития в той или иной стране сегодня в значительной мере определяет место этой страны в мировой цивилизации. Количество научных организаций и работающих в них ученых, объемы финансирования являются в настоящее время не только общегосударственным делом отдельной страны, но и заботой всего мирового сообщества. На науку возлагаются надежды простых людей и правительств в разрешении многих насущных для человечества проблем — обеспечение энергией, развитие новых транспортных средств и коммуникаций, излечение опасных заболеваний и борьба с ними и т. д.

Вопрос о том, что такое наука, задают себе и ученые, которые пытаются понять сущность собственной деятельности, ее границы и возможности, а также потенциальную опасность для человечества неконтролируемого развития и применения достижений науки. Необходимость такого самоосознания науки возникла одновременно с самой наукой, когда первые ученые и философы задались вопросом, что собой представляет не только окружающий мир или человек, но и знание, как его получать, отличая подлинное знание от заблуждения и преходящего мнения, как хранить и передавать знание последующим поколениям, эффективно применяя и развивая его. Пытаясь ответить на эти вопросы, ученые должны были выйти за пределы узко профессиональных интересов и обратиться к философской рефлексии, которая взаимосвязана с развитием науки, как показывает история.

Крупные ученые всегда задумывались над сущностью собственной научной деятельности и методами науки, критикуя и совершенствуя их. Однако в нашем столетии вопрос о том, что представляет собой наука, становится предметом исследования специальных областей науки и философии — в первую очередь философии и истории

науки и техники, а также науковедения — науки о науке, которая возникла в связи с необходимостью управления развитием науки в современном обществе, планирования и организации научной деятельности, взаимопроникновения науки и техники и даже производства. Именно в науковедении возникло представление о науке как о совокупности отдельных дисциплин, в свою очередь обладающих сложной структурой.

## 1. Представление о НАУКЕ как дисциплинарной науке

В конце XIX — начале XX в. произошло качественное изменение в развитии науки, которая начала осознаваться как производительная сила общества и оказывать огромное влияние на все стороны его жизни. Формируется так называемая *большая наука*, которая характеризуется увеличением финансовых затрат на науку, количества научных работников, результативности и, соответственно, доли прикладных исследований, необходимостью управления, планирования, организации и прогнозирования развития науки. Происходит формирование новой социальной организации науки — *дисциплинарно организованной науки*, что в большей мере соответствует ее новой роли в обществе.

Планирование развития науки в целом или какой-либо ее отрасли, перераспределение средств и капитальных вложений требуют учета тенденций развития науки, прогнозирования появления и отмирания ее различных отраслей. Это возможно, если иметь в виду все отрасли науки в целом. Однако очевидно, что ни один современный руководитель не может быть одинаково компетентен во всех этих отраслях. Чтобы обосновать решения, необходимо иметь системное представление о науке в целом на основе исследования организационных, коммуникационных, рефлексивных и других систем связей, существующих в современной науке, а также на основе анализа их взаимосвязи и взаимодействия — выработка этого представления и является целью науковедения.

Рассматривая науку как объект науковедения, разграничивают *внутринаучные* и *внешненаучные* отношения. Кроме того, науку можно рассматривать с *синхронической* и *диахронической* точек зрения. Синхроническая точка зрения предполагает анализ структуры (описание статички системы) и функциональный анализ (описание динамики, движения науки как системы), диахроническая точка зрения — рассмотрение генезиса и развития науки. В результате такого анализа можно получить несколько различных описаний науки.

Итак, наука — это сложная система, поскольку она имеет иерархическую организацию, охватывает большие коллективы людей, распадается на множество составляющих наук и т. п. Однако этого определения недостаточно — таким образом может быть охарактеризована любая сложная система, будь то живой организм или техническое устройство, градостроительный комплекс или общественная организация. Поэтому попытаемся выделить несколько различных системных

описаний, специфичных именно для науки, имея в виду разные способы ее изображения, фиксирующего типы связей в ней, т. е. речь идет о *нескольких системах связей в науке как целостном объекте*.

Наука часто отождествляется с *системой научных знаний*. Такое представление о ней обусловлено наличием связи между отдельными научными дисциплинами, которые реализуются, например, при использовании знаний математики в естественных и технических науках, естественнонаучных знаний — в технических науках и т. д. В представлении науки как системы знаний включаются также конкретные способы получения и организации этих знаний; кроме того, рассматривается функционирование науки с целью выработки научных знаний, т. е. механизмы получения новых знаний. Понятия, методы, принципы и другие элементы науки выступают как орудия получения, фиксации, переработки, трансляции научных знаний. В систему науки включаются также связи между названными элементами.

В науке можно выделить *рефлексивные связи* (связи осознания). Например, философия осуществляет рефлекссию по отношению к естествознанию, техническим наукам и математике. Однако в науке существуют различные уровни рефлексии. Философия науки и науковедение направлены на осознание научной деятельности и ее результатов в математике, физике, биологии и т. д. В то же время философия осуществляет рефлекссию и по отношению к науковедению, представляя собой более высокий уровень рефлексии. Рефлексивные отношения существуют и между наукой и техникой или наукой и производством.

Науку представляют часто как *коммуникационную систему*. В этом случае в ней подчеркивают, например, множество профессионально-методических связей: обмен опытом между профессионалами-учеными с помощью методических указаний, разрабатываемых методологами для ученых, учеными — для инженеров-исследователей и т. д., а также перенос образцов из одной науки в другую. Эти связи реализуются либо через систему публикаций, либо в процессе непосредственного общения. Изучение сетей цитирования в различных областях науки показывает, что кроме формальных связей (ссылок на публикации) существует множество неформальных коммуникационных связей между «блоками авторов», которые связаны между собой постоянными оперативными научными контактами (личные встречи, переписка, совместная работа и т. д.). Этот феномен получил в науковедении название *невидимого колледжа*, т. е. неформального объединения ученых в группы по интересам, которое не носит явный характер, но может быть реконструировано с помощью специального социологического анализа.

В науке фиксируются также *организационные связи*, и тогда она рассматривается как особая *организационная система*, т. е. определенная социальная система, ориентированная на получение новых научных результатов. В этом случае уместно говорить о различной организации фундаментальных и прикладных исследований, для которых характерны разные ценностные ориентиры, формы протекания научной деятельности и взаимоотношения ученых. Способы организации

исследовательских групп и управления ими тоже разные: составление планов и отчетов или их отсутствие, периодичность выполняемых работ, формы их социализации, формальное и неформальное лидерство и т. п. Могут быть выделены и разнообразные типы заинтересованных групп: коллеги, занимающиеся одной дисциплиной; ученые, занимающиеся разными дисциплинами; интеллектуалы, организованные через философское осознание или влияние на культуру в целом, и, наконец, технологи, для которых научные результаты интересны лишь с точки зрения их технологического применения.

Существуют формальная и неформальная организация управления наукой. К первой относятся должностная иерархия, финансирование, средства административного воздействия и др. Неформальная организация управления наукой — это принадлежность к тем или иным заинтересованным группам, блокам ученых, ориентация на определенные ценностные установки, общественное мнение, мнение экспертов и неформальных лидеров.

Таким образом, наука как организационная система рассматривается обычно с позиции ее организации и управления, возможностей оптимизации ее формальной и неформальной структур, прогнозирования и планирования ее развития. Необходимо при этом различать управляемые параметры, подлежащие изменению и контролю, например численность научных работников, финансирование и т. п., и неуправляемые параметры, которые регистрируются только статистически в большом массиве, например продуктивность отдельного ученого.

Коммуникационная, организационная, рефлексивная и другие системы связей в науке используются в различных видах научной и науковедческой практики — совершенствование структуры научных знаний, организация и управление наукой, оптимизация информационного обслуживания и т. д. — и тесно между собой взаимосвязаны. Например, представители определенной научной школы определяют свою принадлежность к ней, демонстрируя свое отношение к существующим типам знаний, способам их систематизации, идеалам знаний. В этом случае они не выходят за рамки системы научных знаний. В то же время представители этой научной школы занимаются созданием институтов, участвуют в деятельности конкретных лабораторий, публикуют статьи в определенных журналах, т. е. они связаны с организационной системой науки.

Если рассматривать науку статически, то все ее системы связей кажутся разобщенными. В то же время наука представляет собой единство, целостность. Поэтому возникает проблема совмещения различных систем связей в науке. Необходимо дать такое описание науки, которое учитывает разнородность и в то же время единство ее связей, — при этом выясняется, что единство всех имеющихся в науке систем связей обнаруживается в процессе *научной деятельности*, во время которого устанавливаются соответствие и единство между системой коммуникаций в науке и рефлексивными связями, между системой научных знаний и организационными структурами.

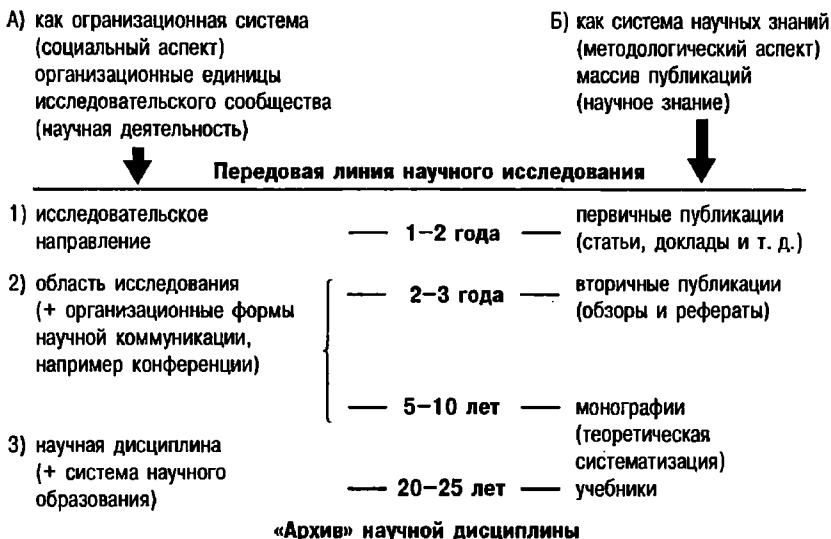
В естественной науке используются знания математики как средство для получения новых знаний, которые, в свою очередь, используются в других областях. Эти знания в реальной научной практике передаются из одних областей в другие посредством личного общения, публикаций, информационно-поисковых систем и т. д., которые представляют собой, с одной стороны, систему организационных мероприятий, а с другой стороны — коммуникационную систему науки. Возможность перенесения знаний в виде опыта и образцов из одних наук в другие, а также совершенствование способов получения научных знаний реализуются через рефлексивные связи. Поэтому функционирование научной деятельности невозможно понять с позиций какой-либо одной системы связей науки. Однако недостаточно исследовать лишь *функционирование* современной научной деятельности — необходимо проанализировать *генезис и развитие этой деятельности* на основе конкретного историко-научного материала, который должен быть использован не только в качестве иллюстрации тех или иных философских положений, но и в качестве объекта глубокого историко-культурологического и содержательно-методологического исследования. Это позволит с исторической точки зрения проследить взаимодействие упомянутых выше систем связей в единой системе науки.

Совершенствование коммуникационной системы науки (публикации в средствах массовой информации, периодические издания, постоянные конференции и т. д.) влияет на темпы развития науки как системы знаний и степень ее воздействия на общество. Это, в свою очередь, влечет за собой изменение организационной системы науки (бюрократизация науки, планирование ее развития и финансирования и т. д.). Ускорение темпов получения научных знаний и сокращение сроков их внедрения в практику, в свою очередь, оказывают обратное воздействие на коммуникационную систему науки. Появляется необходимость совершенствования системы обслуживания, создания информационно-поисковых систем, решения проблемы выбора публикаций, рационального использования времени, оптимизации личных контактов и т. д. Только изучение конкретного историко-научного материала позволит проследить и зафиксировать сложное взаимодействие коммуникационной системы связей в науке и системы научных знаний с ее организационной и рефлексивной системами связей.

То, что мы говорили о науке в целом, относится и к отдельным ее отраслям. Каждый вид научной деятельности должен быть рассмотрен с учетом согласования различных систем связей в нем. В науковедении наука рассматривается как совокупность научных дисциплин, каждая из которых имеет сложную структуру (рис. 1).

Научная дисциплина представляет собой систему со сложной структурой, имеющую иерархическую организацию, которая может быть рассмотрена в двух основных аспектах — как система научных знаний и как научная деятельность. В качестве системы научных знаний научная дисциплина характеризуется относительно однородным

## НАУКА



**Рис. 1. Строение научной дисциплины**

и объединенным тематической общностью массивом публикаций; в плане же научной деятельности она представляет собой социальную систему применительно к относительно устойчивому научному сообществу, состоящему из различных групп ученых и институтов. Именно на пересечении этих двух взаимосвязанных систем и выделяется научная дисциплина. Представители данного научного сообщества не только работают в научных лабораториях и институтах, но и производят новые научные знания, о которых сообщают в публикациях.

Рассмотрим структуру научной дисциплины, разделяя ее исследовательское сообщество на отдельные исследовательские направления и области исследования в соответствии со строением публикационного массива данной дисциплины, составленного за всю ее историю. Распределяя научные публикации по степени их временной удаленности от исследований, которые проводятся современными учеными, можно выделить соответствующие им структурные единицы научной дисциплины.

Первым этапом составления массива публикаций в каждой научной дисциплине являются *первичные публикации*, прежде всего статьи, имеющие общую проблематику, определяющие *исследовательское направление* в рамках дисциплины, объединяющее исследователей, поддерживающих между собой непосредственные контакты.

Второй этап — это *вторичные публикации* (обзоры и рефераты), подводящие определенный итог проводимому циклу научных работ.



Теоретическая систематизация данного цикла исследований, обобщение эмпирического и теоретического материала выполняются в публикациях третьего этапа — в монографиях, еще более удаленных от переднего края исследований. Публикации второго и третьего этапов определяют *область исследования*, предполагающую развитие организационных форм научной коммуникации, создание советов, ассоциаций, проведение научных собраний, конференций и т. д.

Кроме того, научная дисциплина, включающая в себя несколько областей исследования, подразумевает *организацию подготовки кадров* (курсы и кафедры в вузах), выпуск *учебников* (четвертый этап публикаций, наиболее удаленный от переднего края исследований) и наличие ограниченного и специализированного исследовательского сообщества, имеющего особую профессиональную организацию, — лаборатории, научно-исследовательские институты, ученые советы и т. д.

Таким образом, в науковедении наука характеризуется, по сути, внешними, социальными или информационными параметрами. Такое представление о науке очень важно для понимания ее функционирования в современном обществе, однако его явно недостаточно. Используя лишь социологические и науковедческие параметры, теоретически группа недобросовестных «ученых» может конституировать новое исследовательское направление, имитируя дисциплинарную организацию, создавая по форме научное сообщество, однако не создавая при этом никакого научного знания, а лишь потребляя финансовые средства, ссылаясь друг на друга в бессодержательных публикациях, заседаая в многочисленных бесполезных комиссиях и т. д. Этот гипотетический пример показывает, что для разграничения действительной науки и лженауки кроме исследования внешнихнаучных, науковедческих параметров необходим анализ содержания научной деятельности, т. е. содержательный *методологический анализ* конкретных областей научного знания.

Кроме того, как доказал американский ученый Джеральд Холтон<sup>1</sup>, для реконструкции реальной научной деятельности явно недостаточно анализа только одних публикаций. Анализируя историю науки, например теоретические дискуссии и экспериментальные исследования известных физиков Миликана и Эренхафта, он подчеркивает, что для реконструкции действительной историко-научной ситуации требуется анализ не только публикаций, но и дневников экспериментаторов. Уже в журнальных публикациях ученые часто пытаются систематизировать свои результаты, убирая незначашие, на их взгляд, или противоречащие отстаиваемым ими представлениям экспериментальные результаты, которые интерпретируются ими как случайные или ошибочные. Однако именно эти результаты могут оказаться важными для понимания реального хода научного исследования. В еще меньшей степени реальная научная ситуация на переднем крае исследования отражается в монографиях и учебниках. Как подчеркивает другой американский философ науки, Томас Кун, история

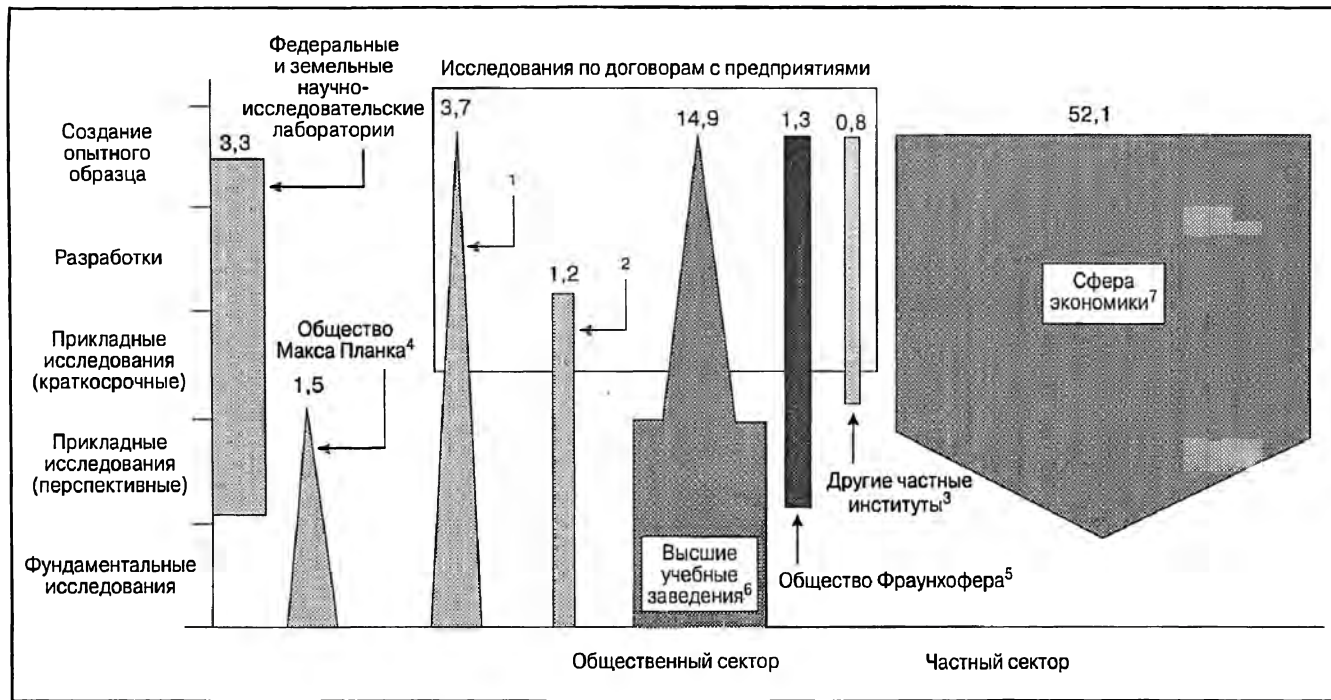
---

<sup>1</sup> Холтон Дж. Тематический анализ науки. М.: Прогресс, 1981.

научной дисциплины не имеет ничего общего с реальностью и переписывается каждый раз, когда побеждают новые идеи. Такого рода «историческое» введение призвано лишь подтвердить примерами из истории науки, что идеи имеют корни и поддержку в прошлом.

Итак, новые исследовательские направления постепенно объединяются в области исследования, образующие научную дисциплину. Научные дисциплины объединяются, в свою очередь, в более крупные дисциплины, обладающие определенной спецификой: математические, естественнонаучные, социально-гуманитарные (общественные) и научно-технические. Однако зачастую научно-технические дисциплины из-за их пограничного характера бывают отнесены к сфере техники, а не науки. Например, теоретическая радиотехника или теория механизмов и машин, являясь техническими науками, соответствуют основным критериям научной дисциплины — в этой области издаются специальные журналы, создаются курсы в вузах, периодически проводятся конференции, научные семинары, финансируются исследования, направленные на развитие самой дисциплины. Исследования, проводимые представителями научно-технических дисциплин, связаны, с одной стороны, с разработкой и внедрением технических систем, а с другой — с естественнонаучными, математическими и даже социально-гуманитарными дисциплинами. Кроме того, начиная с XIX в. техника постепенно заимствует у науки некоторые формы научной организации (научное обучение, организация инженерных обществ по типу научных и т. п.). Да и научные общества и академии наук в XVII—XVIII вв. в основном занимались обсуждением весьма практических тем. В рабочем кабинете тогдашнего ученого можно было обнаружить множество предметов, относящихся к сфере техники.

Широко обсуждаемым вопросом является соотнесение теоретической науки с практическими областями исследования — например, может ли быть отнесена к сфере науки практическая медицина или техника. Однако в последнее время связь между теорией и практикой, наукой и техникой становится все теснее, да и финансирование прикладной науки и техники часто более весомо, чем теоретической, хотя в конечном счете прикладных результатов общество ожидает и от теоретической науки. Что касается соотношения науки и техники, то они настолько взаимосвязаны, что возникли даже особые технические науки. В любой развитой европейской стране, например в Федеративной Республике Германия, прикладные исследования и разработки занимают большую долю всего совокупного объема исследований (рис. 2). В Российской Академии наук также наряду с фундаментальными исследованиями огромную роль играют прикладные исследования и разработки, особенно в области естественных наук.



**Рис. 2. Исследовательский ландшафт Германии**

(по данным за 1995 г., в млрд. ДМ)

(Из доклада: Böhler S. Forschungs- und Technologiepolitik in Deutschland. Karlsruhe: Fraunhofer Institut für Systemtechnik und Innovationsforschung, Februar 1999.)

- 1 – крупные исследовательские организации, (имеется 16 таких организаций федерального подчинения по всей Германии, насчитывающих 22 500 научных сотрудников, например Общество германских исследовательских центров Германа Гельмгольца);
- 2 – институты научного общества Готфрида Лейбница (ранее назывались исследовательскими организациями «синего списка»), включающие в себя около 10 000 сотрудников;
- 3 – рабочее общество исследовательских союзов «Отто фон Герике»;
- 4 – Общество Макса Планка, включающее в себя 9000 научных сотрудников и концентрирующееся на избранных областях фундаментальных исследований, не покрываемых университетскими научными разработками, например междисциплинарных исследованиях;
- 5 – Общество Фраунхофера, состоящее из различных разбросанных по всей Германии институтов, насчитывающих примерно 4000 сотрудников, занятых практическим применением научных знаний в рамках долгосрочных прикладных исследований;
- 6 – научные исследования в высших учебных заведениях (университеты, профессиональные высшие школы и т. п.), включающие в себя 110 000 научных сотрудников и финансируемые в наибольшей степени Земельными правительствами или Германским научно-исследовательским обществом;
- 7 – исследования, проводимые на предприятиях или финансируемые ими, включающие в себя около 284 000 научных сотрудников (в основном прикладные исследования и экспериментальные разработки), в 1995 г. составили 66% от совокупного национального финансирования научных исследований и разработок.

В Германии фундаментальные исследования осуществляются в основном высшими учебными заведениями и институтами Общества Макса Планка. Однако значительную долю научной работы составляют перспективные прикладные исследования. Краткосрочные прикладные исследования, разработки и работы по созданию опытного образца проводятся в сфере экономики (т. е. на частных фирмах). В Германии существуют также так называемые крупные исследовательские организации, которые финансируются из общественного сектора (т. е. в соответствии с правительственными программами) и имеют смешанную организационную структуру (частично разделенную на институты и другие структурные подразделения, частично организованную в виде временных рабочих коллективов с гибкой проектной организацией). Эти исследовательские организации выполняют весь спектр научно-исследовательских работ — от фундаментальных исследований до выпуска опытного образца. Более ориентированы на решение прикладных задач институты общества Фраунхофера.

Поскольку существуют различные мнения относительно соотношения науки и техники, приведем основные современные концепции исторического развития взаимодействия естествознания и техники.

## 2. Современные концепции исторического развития взаимодействия естествознания и техники

(1) В течение длительного времени одной из наиболее распространенных концепций (особенно в 50–60-е гг. нашего столетия) была *линейная модель рассмотрения техники в качестве простого приложения к науке и даже как прикладной науки*. Однако эта модель в последние годы подверглась серьезной критике как слишком упрощенная. Модель взаимоотношения науки и техники, подразумевающая признание за наукой функций производства знания, а за техникой — лишь применения этого знания, отвергается, например, американским исследователем Лейтоном. С его точки зрения, она не столько ложна, сколько вводит в заблуждение: «она утверждает, что наука и техника представляют различные функции, выполняемые одним и тем же сообществом»<sup>2</sup>.

Действительно, границу между наукой и техникой во многих случаях бывает провести весьма трудно. В термодинамике, аэродинамике, физике полупроводников, медицине практику от теории отделить почти невозможно. И ученый, и техник применяют знание математики, могут работать в одних и тех же лабораториях, у обоих руки могут быть «грязными от ручного труда». Многие известные ученые, например Архимед, Галилей, Кеплер, Гюйгенс, Гук, Лейбниц, Эйлер, Гаусс, Кельвин и др., сделали открытия в области техники, а многие инженеры, например Герон Александрийский, Леонардо да Винчи, Стевин, Герике, Уатт, Карно и др., стали знаменитыми в науке. Сегодня отличие теоретиков от практиков определяется наличием академической степени или зафиксировано в названиях их трудов, но в действительности эти отличия могут оказаться формальными: большинство современных ученых в той или иной степени и в течение различного времени занимаются работой, служащей инженерным целям, а инженеры эпизодически занимаются исследованием того, что не подразумевает технического применения. На уровне социальной организации различия науки и техники также являются произвольными. Если в названии школы, академии или профессиональной организации имеются производные от слов «наука» или «техника», то это скорее свидетельствует о том, какое место они занимают на современной шкале ценностей, чем о действительных интересах и характере деятельности их членов. Однако, конечно, наука обладает более высоким социальным статусом, чем техника. Профессиональная организация или принадлежность к ней являются гарантом достижения и сохранения такого статуса, поэтому ученые, сделавшие крупный вклад в развитие *технических наук*, часто придают значение лишь своим работам в области *фундаментальной науки*, поскольку они значимы для признания их вклада научным сообществом. Следовательно, научные и технические цели часто преследуются одновременно или в различное

---

<sup>2</sup> Layton E. Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th Century America // Technology and Culture, 1971, vol. 12, № 4, p. 565.

время одними и теми же персонами или институтами, использующими одни и те же методы и средства, поэтому «практически применимого критерия для различения науки и техники просто не существует»<sup>3</sup>.

Иногда, однако, считают, что главное различие между наукой и техникой — лишь широта кругозора и степень общности проблем: в технике они соответственно уже и специфичнее<sup>4</sup>. Такую точку зрения отвергает Лейтон, утверждая, что наука и техника «составляют различные сообщества, каждое со своими целями и системами ценностей»<sup>5</sup>.

Такая упрощенная линейная модель «технологии как прикладной науки», т. е. модели, постулирующей линейную, последовательную траекторию от научного знания к техническому открытию и инновации, была признана неадекватной большинством участников Международной конференции историков и философов техники «Техническое развитие и наука в XIX и XX столетиях», проходившей в 1990 г. в Техническом университете Эйндховена (Голландия)<sup>6</sup>.

(2) Процессы развития науки и техники рассматриваются как *автономные, независимые друг от друга, но скоординированные*: техника задает условия для выбора научных, а наука — технических вариантов.

Известный американский историк техники М. Кранцберг считает, что представление о технике как просто прикладной науке устарело<sup>7</sup>. Наука использует технику на некоторых стадиях своего развития для получения собственных результатов, и наоборот<sup>8</sup>. Наука в технических инновациях имеет относительное, а не абсолютное значение.

По мнению американского философа техники Г. Сколимовского, факторы, определяющие развитие техники; отличны от факторов, определяющих прогресс в науке. Технические достижения действительно во многих случаях основываются на чистой науке, однако исходной в этом случае является инженерная, а не познавательная проблема. Поэтому при исследовании технического развития следует исходить из исследования этапов решения технической проблемы. Прогресс в технике означает возможность производить все более разнообразные технические объекты с новыми характеристиками и более эффективным способом. «Наука преследует цель увеличения нашего

---

<sup>3</sup> Mayer O. The Science-Technology Relationship as a Historiographic Problem // *Technology and Culture*, 1976, vol. 17, № 4, p. 667, 668.

<sup>4</sup> Gruender C. D. On Distinguishing Science and Technology // *Technology and Culture*, 1971, vol. 12, № 3.

<sup>5</sup> Layton E. Mirror-image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th Century America // *Technology and Culture*, 1971, vol. 12, № 4, p. 6.

<sup>6</sup> *Technological Development and Science in the Industrial Age. New Perspectives on the Science-Technology Relationship*. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992, p. 1.

<sup>7</sup> Kranzberg M. Introduction: Trends in the History and Philosophy of Technology. In: *The History and Philosophy of Technology*. Urbana: Univ. of Ill. Press, 1979, p. XIX.

<sup>8</sup> Kranzberg M. The Disunity of Science-Technology // *American Scientist*, 1968, vol. 56, № 1.

знания с помощью изобретения все лучших и лучших теорий; техника преследует цель создания новых артефактов с помощью изобретения средств повышения эффективности. Таким образом, в каждом из этих случаев цели и средства различны»<sup>9</sup>.

Американский науковед Дерек де Солла Прайс пытается перенести модель динамики массива публикаций в научных исследованиях на объяснение развития техники, следующим образом определяя различие в развитии науки и техники: ученый стремится опубликовать статью, но для инженера конечным продуктом является не опубликованная статья, а артефакт или процесс. Однако изобретения (машина, лекарство, продукт или процесс) являются результатом определенного типа (технического) исследования. Поэтому можно применить модель динамики массива публикаций в науке к объяснению развития техники<sup>10</sup>. Такая процедура в принципе возможна, но требует дополнительного методологического обоснования.

Конечно, технику нельзя рассматривать как прикладную науку, а прогресс в ней — как прирост научных открытий. Такая точка зрения является односторонней, хотя бы потому, что само понятие «приложение» может трактоваться по-разному. Существуют приложения одних наук в другие науки, но при этом никто не пытается утверждать, что одна из них носит фундаментальный, а другая — прикладной характер. Не менее односторонним, однако, является и утверждение о лишь эмпирическом характере технического знания, согласно которому технический прогресс руководствуется прежде всего эмпирическим знанием, полученным в процессе имманентного развития самой техники, а не теоретическим знанием, привнесенным в нее извне научным исследованием<sup>11</sup>. Современная техника немыслима без глубоких теоретических исследований, которые проводятся сегодня не только в естественных, но и в технических науках.

(3) Согласно концепции, которую развивает, например, германский философ Гернот Бёме, *наука развивалась, ориентируясь на развитие технических аппаратов и инструментов*, и представляет собой ряд попыток исследовать и систематизировать методики их функционирования. Например, теория магнита английского ученого Вильяма Гильберта базировалась на использовании компаса, термодинамика основана на изобретении парового двигателя, а Галилей и Торичелли использовали в своих открытиях практику инженеров, строивших водяные насосы. По мнению Бёме, техника представляет собой не

---

<sup>9</sup> Skolimowski H. The Structure of Thinking in Technology // Technology and Culture, 1966, vol. 7, № 3, p. 374, 376.

<sup>10</sup> De Price S.D. The Structure of Publications in Science and Technology. In: Factors in the Transfer of Technology. Cambridge; The M.I.T. Press, 1969; S.D. de Price. Theoretical Basis for Input-Output Analysis of National R & D Policies. In: Research, Development and Technological Innovation: Recent Perspectives on Management. Lexington (Mass): Lexington Books, 1980.

<sup>11</sup> Sahal D. Patterns of Technological Innovation. L.: Addison-Wesley Publ. Co., Inc., 1981, p. 32.

применение научных законов, а скорее моделирование природы сообразно социальным функциям. Не только наука является основой техники, но и техника создает базу науки. Такое единство науки и техники сложилось в Новое время (XVI—XVII вв.), когда механика была впервые признана в качестве науки, а природу стали исследовать с помощью технических моделей<sup>12</sup>. С этого времени прогресс науки в значительной степени зависит от изобретения соответствующих научных инструментов<sup>13</sup>.

Многие технические изобретения, например телескоп и микроскоп, крупные архитектурные проекты, появились задолго до возникновения экспериментального естествознания<sup>14</sup>. Американский философ Дж. Фейблемен даже утверждает, что хотя, без сомнения, на прогресс техники оказывает сильное влияние наука, верно также, что чистая наука пользуется техникой (инструментами). Более того, по его мнению, наука была лишь дальнейшим развитием техники<sup>15</sup>.

(4) Согласно концепции А. Койре, напротив, *техника науки (измерение и эксперимент) во все времена обгоняет технику повседневной жизни*<sup>16</sup>. Примерно такую же концепцию развивает Луис Мэмфорд: «Сначала инициатива исходила не от инженеров-изобретателей, а от ученых, которые устанавливали общий закон: изобретение — производимый продукт. Телеграф в сущности открыл Генри, а не Морзе; динамо — Фарадей, а не Сименс; электромотор — Эрстед, а не Якоби; радиотелеграф — Максвелл и Герц, а не Маркони и Де Форест. Преобразование научных знаний в практические инструменты было простым эпизодом в процессе открытия. Из этого выросло новое явление: обдуманное и систематическое изобретение. Например, телефон на большие дистанции стал возможен только благодаря систематическим исследованиям в Белловских лабораториях»<sup>17</sup>.

Эта концепция также является односторонней. Хорошо известно, что ни Максвелл, ни Герц не предполагали технического использование развитой ими электромагнитной теории. Герц проводил естественнонаучные эксперименты, подтвердившие теорию Максвелла, а не конструировал радиоприемную или радиопередающую аппаратуру, изобретенную позже. Потребовались значительные усилия многих ученых и инженеров, прежде чем эта аппаратура приобрела современный вид. Однако, конечно, эта работа сопровождалась серьезными

<sup>12</sup> Böhme G. Am Ende des Baconschen Zeitalters. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1993, S. 453–454.

<sup>13</sup> Wolf A. A History of Science, Technology and Philosophy in the 16th and 17th Century. L.: Allen & Unwin, 1950, p. 51.

<sup>14</sup> Ihde H. Die historisch-ontologisch Priorität der Technik. In: Technikphilosophie in der Diskussion. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1982, S. 215.

<sup>15</sup> Feibleman J.K. Technology and Reality. The Hague: Nijhoff, 1982, p. 6, 8.

<sup>16</sup> Koyre A. Galilei. Die Anfänge der neuzeitlichen Wissenschaft. Berlin: Verlag Klaus Wagenbach, 1988, S. 29, 89, 93–94.

<sup>17</sup> Mumford L. Technics and Civilisation. N.Y.: Harcourt, Brace and World, Inc., 1963, p. 218.



систематическими. научными. (тёчнее, научно-техническими) исследованиями. В то же время «технологические инновации необязательно являются результатом движения, начинающегося с научного открытия»<sup>18</sup>.

(5) Наиболее реалистична и исторически обоснована концепция соотношения естествознания и техники — *регулярное применение научных знаний в технической практике*, которого не было до конца XIX в. и которое характерно для технических наук в настоящее время. Эту концепцию развивает, например, А. Холл<sup>19</sup>. В течение XIX в. соотношение науки и техники частично изменяется в связи со «сциентификацией» техники. Этот переход к научной технике был, однако, не однонаправленной трансформацией техники под воздействием науки, а их взаимосвязанной модификацией, т. е. «сциентизация техники» сопровождалась «технизацией науки»<sup>20</sup>.

На протяжении своего исторического развития техника в основном была незначительно связана с наукой; люди делали различные устройства, не понимая принципов их работы<sup>21</sup>. Естествознание до XIX в., в свою очередь, решало в основном собственные задачи, хотя часто использовало достижения техники. Инженеры, провозглашая ориентацию на науку, в практической деятельности почти не руководствовались ею<sup>22</sup>. Соединение науки и техники произошло лишь в XVII в., в начале научной революции. Однако только к XIX в. это единство приносит первые результаты, и только в XX в. наука становится главным источником новых видов техники и технологии. Немецкий инженер Г. Румпф, в течение долгого времени являвшийся ректором технического университета в г. Карлсруэ, подчеркивает, например, что «современная промышленная техника основательно отличается от ремесленной техники прошлого. Было бы лучше оба эти явления называть по-разному. Ремесленная техника могла развиваться и развивалась независимо от науки. Сегодня это немислимо. Современная техника... существует лишь благодаря науке...»<sup>23</sup>. Положение изменилось прежде всего в связи с развитием технических наук.

<sup>18</sup> Technological Development and Science in the Industrial Age. New Perspectives on the Science-Technology Relationship. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992, p. 234.

<sup>19</sup> Hall A. R. Engineering and the Scientific Revolution // Technology and Culture, 1964, vol. 2, № 4.

<sup>20</sup> Böhme G. Models for the Development of Science. In: Science, Technology and Society. A Cross-Disciplinary Perspective. L.: Methaen & Co Ltd., 1972.

<sup>21</sup> Kranzberg M., Pursell C. W. The Importance of Technology in Human Affairs. In: Technology in Western Civilisation. Vol. 1. N.Y.: Oxford Univ. Press., 1967, p. 6; R. Sanders. International Dynamic of Technology. L.: Greenwood Press, 1983.

<sup>22</sup> Бёме Г., Ван ден Даале В., Крон В. Сциентификация науки. В кн.: Философия техники в ФРГ. М.: Прогресс, 1989.

<sup>23</sup> Rumpf H. Technik zwischen Wissenschaft und Praxis: technik-philosophische und technik-soziologische Schriften. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1981, S. 113.

В отечественной литературе дается следующая периодизация развития технического знания<sup>24</sup>.

*В донаучный период* последовательно формируются три типа технических знаний: практико-методические, технологические и конструктивно-технические.

*В период зарождения технических наук* (со второй половины XVIII в. до 70-х гг. XIX в.) впервые происходит, во-первых, формирование научно-технических знаний на основе использования в инженерной практике знаний естественных наук и, во-вторых, появление первых технических наук — этот процесс в новых областях практики и науки происходит, конечно, и теперь.

*Третий период — классический* (до середины XIX в.) — характеризуется построением ряда технических теорий.

*Наконец, в настоящее время* наметился этап осуществления комплексных исследований, интеграции технических наук не только с естественными, но и общественными науками; вместе с тем происходит процесс дальнейшей дифференциации и «отпочкования» технических наук от естественных и общественных.

Впрочем, сфера техники постепенно становится все более самостоятельным предметом исследования философии техники.

В современной западной философии философия техники уже довольно давно выделилась в самостоятельную область философского исследования. Свидетельство тому — целый ряд обзоров литературы, сборников, монографий и даже серий, специально посвященных этой проблематике. Определенные итоги развития этой области подведены Митчемом и Маккеем в библиографическом указателе литературы, изданном в 1973 г.<sup>25</sup>, и в сборнике «Технэ, техника, технология», изданном под редакцией Ленка и Мозера, профессоров технического университета г. Карлсруэ, в ФРГ<sup>26</sup>. В Америке в 1975 г. организовано Общество по философии и технике, которое проводит регулярные международные конференции по этой тематике и издает материалы этих конференций. Общество выпускает ежегодник «Исследования по философии и технике» (с 1978 г.) и ежегодник «Философия и техника». Общество Георга Агриколы издало широкоформатный десяти-томник «Техника и культура», один из томов которого посвящен теме «Философия и техника»<sup>27</sup>, а раздел этой темы — развитию философии техники.

Об интересе к философии техники свидетельствует также наличие на международных и многих национальных философских

---

<sup>24</sup> Иванов Б.И., Чешев В.В. Становление и развитие технических наук. Л., 1977; Чешев В.В. Технические науки как объект методологического анализа. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1981; Философские вопросы технического знания. М.: Наука, 1984.

<sup>25</sup> Mitcham C., Mackey R. (Eds.) Bibliography of the Philosophy of Technology. Chicago - London, 1973.

<sup>26</sup> *Techné, Technik, Technologie*. München: UNB Verlag, 1973.

<sup>27</sup> *Technik und Philosophie*. (Technik und Kultur; Bd. 1). Düsseldorf: VDI Verlag, 1990.

конгрессах секций или, по крайней мере, круглых столов по философии техники или ее отдельным разделам. В Союзе немецких инженеров в 1956 г. сформирована исследовательская группа «Человек и техника», в ряде германских университетов читаются специальные курсы по философии техники. Например, предметом обсуждения на 12-й конференции ректоров и президентов европейских технических университетов была проблема интеграции социальной оценки техники и социальных наук и таким образом широкого междисциплинарного подхода к технике в системе высшего технического образования. Тогдашний ректор университета г. Карлсруэ профессор Хайнц Кунле подчеркнул важность обучения будущих инженеров гуманитарным и социальным наукам, экономике и праву, философским и этическим вопросам: «инженеру необходима рефлексия над техникой в контексте гуманитарных и социальных наук, экономики и права», а также важность социальной ответственности инженеров<sup>28</sup>. В ряде американских университетов с конца 60-х — начала 70-х гг. также были сформированы отделения, рассматривающие программу философии, техники и общества, деятельность которых координируется Национальной ассоциацией по науке, технике и обществу (основана в 1987 г.). В технических университетах и исследовательских институтах Испании, Голландии, Франции, Чехии, Польши и Венгрии также существуют соответствующие кафедры или подразделения. В ряде российских городов (Ленинграде, Томске, Москве и др.) проводятся интенсивные исследования в этой области: с начала 70-х гг. публикуются монографии и сборники, а с 1978 г. — серии статей и других материалов в журнале «Вопросы философии»; в 1987 г. был организован сектор философии техники в Институте философии Академии наук СССР.

Философия техники исследует технику, техническую деятельность и техническое знание как феномен культуры, развитие технического сознания, т. е. технического отношения человека к миру, а также методологические проблемы технических наук и проектирования, составляющие сегодня значительную долю научных исследований в целом, — в этом наиболее явно проявляется тесная взаимосвязь философии науки и философии техники.

Центральной темой философии техники, естественно, является смысл, сущность и понятие техники. Однако представление о технике постоянно развивается, как и сама техника. В свою очередь, техническое развитие является частью культурного прогресса. Хотя техника долгое время развивалась независимо от науки, это не значит, что в ней не применялись научные знания. Более того, элементы научных знаний формировались долгое время именно в практической, прежде всего технической, сфере. В древних мифах часто трудно отделить естественное (природное) от искусственного (технического), как и безличное — от персонафицированного. Искусственно созданный

---

<sup>28</sup> Integration of Technology Assessment and Humanities into Engineering Education. Proceedings of the 1991 Conference. University of Karlsruhe, Germany. September 26th–28th, 1991. Karlsruhe – Vienna, 1992, p. 9.

проект воспринимался последующими поколениями как естественная (безличностная) традиция. Первые этапы исторического развития человечества характеризуются синкретизмом знания, не разделенного на научные и технические.

В эпоху античности наука и техника развиваются практически независимо друг от друга, а *технэ* древних греков относится больше к искусству, чем к науке. *Естественное*, т. е. природное, отделяется от *искусственного* и рассматривается вначале как антитеза сверхъестественному или насильственному. В средневековье *естественное* понималось как сотворенное Богом в отличие от *искусственного*, созданного человеком. В эпоху Ренессанса и Нового времени наука все более использует технический эксперимент, а техника — достижения науки. В связи со становлением экспериментального естествознания возникает проблема взаимодействия естественного и искусственного. Эксперимент рассматривается, с одной стороны, как *искусственное* — техника, а с другой стороны, является репрезентантом *естественного* — природы. Именно поэтому естественный (природный) закон может быть подтвержден технически подготовленным экспериментом, а знания, полученные искусственным путем в этом эксперименте, могут быть распространены на природные объекты. Техническая деятельность также должна основываться на знании природных законов, естественнонаучном познании. Это убеждение явилось основой сначала экспериментального естествознания, а затем научного инженерного образования и позднее технической науки.

Последующий период характеризуется развитием технических наук и научной техники. Объектом исследования и естествознания и технической науки является *естественно-искусственная система*. Таким образом, сегодня тесно взаимосвязаны не только естествознание и техника, но и философия науки и философия техники. Именно методология технических наук и проектирования становится центром пересечения философии техники и философии науки.

Следовательно, в настоящее время следует изучать не только методологию естественнонаучного исследования, но и методологию научного исследования в целом, в том числе научно-технического исследования и проектирования.

### 3. Методология исследования и проектирования

Спор о том, что называть наукой, чаще всего концентрируется вокруг вопроса о том, являются ли наукой так называемые гуманитарные науки (на Западе они имеют другое название — социальные науки и науки о духе), или к науке относятся лишь физика, математика, химия, биология и т. д., т. е. «строгие науки». Иногда даже математику предлагают не относить к понятию «наука», поскольку она является универсальным методом любой «строгой науки». Руководствуясь этой точкой зрения, философию тем более нельзя назвать наукой, так как, зачастую обсуждая проблемы, выходящие за пределы возможностей

современного научного знания, она, если и является наукой, то скорее спекулятивной и неточной. В то же время иногда философия посвящена лишь методологическому анализу научного знания. Бесспорно, сегодня философия науки занимает одно из ведущих мест в общей философии, но ею не исчерпывается все содержание философии. Кроме того, не всегда видна грань между собственно философским и конкретно-научным анализом научного знания, связанным с внутри-научной рефлексией.

Методология как самостоятельная философская дисциплина появилась лишь в XX в. Первые античные натурфилософы были, конечно, методологами, поскольку создавали первые, исходные исследовательские программы, мыслительные модели, варианты которых были использованы на протяжении всего последующего развития науки. Но античные натурфилософы были одновременно и учеными, естествоиспытателями, математиками и т. д. В последующем ученые часто занимались методологией применительно к развиваемым ими наукам: Галилео Галилей разработал новый методологический инструментарий экспериментального и математизированного естествознания, Рене Декарт был и первоклассным ученым, и философом, и методологом, Сократ впервые поставил вопрос о том, что такое научное знание и как его получать, Аристотель не только синтезировал все имевшиеся в античности знания в своей философской системе, но и разработал концептуальные схемы, до сих пор используемые в естествознании... Философы всегда обсуждали основания науки, критиковали и совершенствовали ее концептуальную структуру. Иммануил Кант рассматривал науку как предмет систематического и критического философско-методологического анализа. Однако лишь в философии науки XX в. методология науки становится относительно самостоятельной рефлексивной дисциплиной. Поэтому строгое разграничение науки и метафизики невозможно.

Логические позитивисты, или неопозитивисты, пытались провести такое разграничение на основе критерия верификации, т. е. установления соответствия различных теорий эмпирическому материалу, опыту — наблюдениям и экспериментам. Согласно этому критерию научными являются только эмпирические теории, наиболее яркие представители которых — физические теории, имеющие эмпирическое содержание, соотносимые с опытом, а значит, и имеющие смысл. Существует довольно распространенное мнение, наиболее ярко выраженное одним из основоположников неопозитивизма Морицем Шликом, что философия никогда не имеет смысла, а представляет собой лишь набор бессодержательных слов (рис. 3).

Подобные утверждения можно рассматривать как реакцию на умозрительность многих философских построений, все более увеличивающийся с конца XIX — начала XX в. разрыв между спекуляциями философов и достижениями конкретных наук, стремление развивать философию как «позитивную» науку. «Если... еще раз сформулировать итог нашего рассмотрения соотношения философской и естественнонаучной деятельности, то я хотел бы представить, — пишет



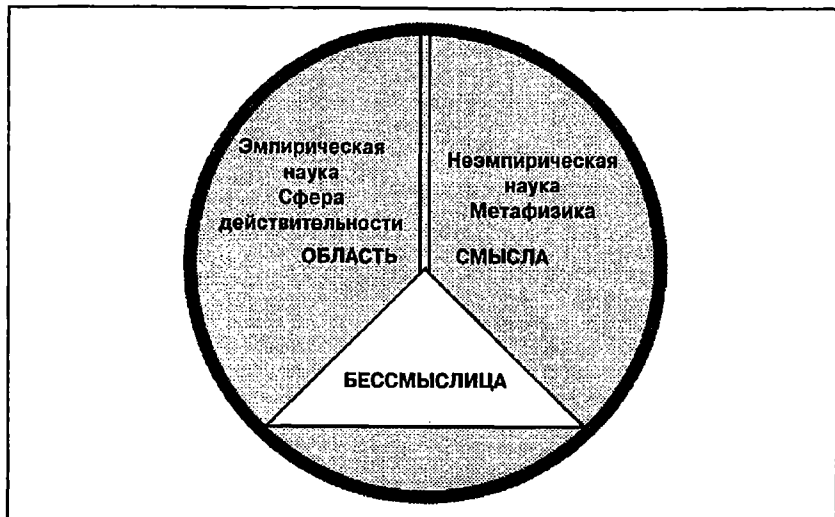
**Рис. 3. Демаркация науки от метафизики у неопозитивистов**  
 (критерий разграничения = верификация, верифицируемость = эмпирическая проверка, проверяемость)

Шлик, — как подлинный результат то, что обе деятельности не просто внешне где-то сходятся, но то, что они по своей сути неразрывно связаны. Естествоиспытатель должен быть философом, чтобы осмыслить и далее развить основные понятия своей науки; философ же не может прийти к мировоззрению иначе чем исходя из картины мира естественных наук. То, что философия производит свое мировоззрение не из произвольных самостоятельных мировоззрений, а целиком и полностью погружаясь в опытные науки, это без всякого ущерба обогащает мировоззрение, ибо скопированная с опыта картина мира гораздо многоцветнее, искуснее и богаче, чем та, которую мог бы найти какой-либо человеческий разум или нарисовать какая-либо человеческая фантазия»<sup>29</sup>.

Однако сами же неопозитивисты ослабили критерий верификации, заменив его критерием верифицируемости, т. е. *возможной* подтверждаемости теорий. Еще дальше пошел по этому пути Карл Поппер, заменивший позитивистский критерий принципом фальсификации, а позднее фальсифицируемости, т. е. опровержимости научных теорий (рис. 4).

В качестве научного метода развития теорий он рассматривает метод критики и дискуссий, причем философские теории хотя и не фальсифицируемы (не могут быть опровергнуты обращением к опыту),

<sup>29</sup> Шлик М. Философия и естествознание. В кн.: От логического позитивизма к постпозитивизму: Хрестоматия. М.: НИИВО-ИНИОН, 1993, с. 30.



**Рис. 4. Методологический фальсификационизм К. Поппера – метод рациональной критики и дискуссий**

Критерий разграничения – фальсификация (фальсифицируемость) = опровержение (опровержимость) – позволяет отличать научные утверждения от метафизических (неэмпирических).

Философские высказывания не могут быть опровергнуты эмпирическим опытом, но осмысленны.

Научная философия – это методология = логика научного исследования

но все же имеют смысл. Фактически неопозитивисты предлагают заменить старую философию, основанную на науке, философией науки. «Умозрительная философия стремилась приобрести знание универсалий, наиболее общих принципов, управляющих Вселенной. Таким образом она вела к построению философских систем, содержащих разделы, которые мы должны сегодня рассматривать наподобие наивных поисков исчерпывающей физики — физики, в которой функция научного объяснения была присвоена простым аналогиям с опытом повседневной жизни... вопросы теории познания решались скорее средствами образного языка, чем логического анализа. Вопреки этому научная философия полностью предоставляет объяснение Вселенной ученым... Научная философия стремится уйти от историзма и методами логического анализа достигнуть заключений, столь же точных, разработанных и надежных, как и результаты науки нашего времени. ...Она не претендует на обладание абсолютной истиной, существование которой отрицается эмпирическим познанием... новая философия сама эмпирична и удовлетворяется эмпирической истиной»<sup>30</sup>.

<sup>30</sup> Райхенбах Х. Старая и новая философия: сравнение. В кн.: От логического позитивизма к постпозитивизму: Хрестоматия. М.: НИИВО-ИНИОН, 1993, с. 72–92.

Таким образом, неопозитивисты понимали философию науки как методологию научного познания, сводя ее к логическому анализу языка науки. В нашей стране в 60-е гг. логика научного познания также конституируется в самостоятельное исследовательское направление, получившее развитие в значительной мере на основе, с одной стороны, конструктивной критики неопозитивизма, а с другой — разграничения ее предмета с так называемой диалектической логикой. «Развитие современной логики науки, использующей аппарат математической логики, сделало ясным, что не следует преувеличивать гносеологической и методологической значимости этой логики и ставить перед ней такие задачи, которые она заведомо не может решить. Отсюда вытекает необходимость самостоятельного *гносеологического* исследования процессов научного познания, не ограниченного рамками формальной логики. Иначе говоря, для того чтобы охватить всю проблематику логики научного познания, необходимо наряду с формальной логикой использовать также методы и средства иной логики, которая должна иметь ярко выраженный теоретико-познавательный характер»<sup>31</sup>. Именно такое расширение понимания логики науки, выходящее за пределы применения лишь формальной и математической логики в процессе анализа научного знания, привело к вычленению методологии научного познания в качестве самостоятельного направления философии науки. «Современная наука ставит перед философией разнообразные проблемы — как социологические, так и логико-гносеологические. Последние также очень многообразны. Во-первых, можно выделить группу чисто логических, или, точнее, формально-логических вопросов, поднимаемых современной наукой. К их числу относится дальнейшая разработка формально-логического аппарата, необходимого для успешного развития науки. ...Однако эта проблематика все более становится чисто специальной, выходящей за пределы непосредственных задач философии.

Во-вторых, можно выделить группу чисто философских проблем, которые возникают из потребностей развивающейся науки. Главной из них является разработка философских категорий на основе обобщения результатов современной науки. Только таким способом можно обеспечить связь с наукой и действительное влияние на ее развитие.

Однако существует ряд проблем, выдвигаемых современной наукой, которые нельзя отнести ни к чисто логическим, ни к чисто философским, которые находятся где-то на стыке философии и логики. К числу их мы относим изучение процессов научного исследования. Такое изучение представляет собой задачу не чисто логическую, поскольку его конечным результатом является не создание нового или усовершенствованного прежнего логического исчисления, а воспроизведение всей сложности движения мышления к новым научным результатам. Но оно не составляет и чисто философской задачи...»<sup>32</sup>.

<sup>31</sup> Проблемы логики научного познания. М.: Наука, 1964, с. 10.

<sup>32</sup> Логика и методология науки. IV Всесоюзный симпозиум. Июнь, 1965 г. М.: Наука, 1967, с. 10–11.



Такое положение дел в тогдашней ситуации было связано с необходимостью, во-первых, защиты от обвинений в позитивизме, что означало идеологическое преступление, и, во-вторых, разграничения задач с философией диалектического материализма, затрагивающей в основном мировоззренческие основания науки. Поэтому сам термин «*философия науки*» рассматривался как знак западной философии. Эти стимулированные идеологическими причинами дискуссии позволили, однако, более четко определить сферу собственно методологии науки, которая, конечно же, является частью философии науки, но должна быть отграничена и от логики, и от философии, и от самого научного исследования.

Методология науки «нередко понимается либо слишком широко, либо, наоборот, слишком узко. Было бы неверным полагать, что методология науки должна явиться чем-то вроде современной версии науки наук. Сама методология, конечно, не строит и не может строить не только теорий, но и специальных научных методов. В самом общем виде задачу методологии научного познания можно обозначить как построение методов создания научных теорий. Действительно, современная наука располагает весьма изощренными (и непрерывно умножающимися в числе) методами обнаружения фактов; такие методы создавались и будут создаваться в недрах и средствами соответствующих наук. Но у современной науки отсутствуют сознательно выделенные и детализированные методы создания научных теорий (соответствующие работы в области современной формальной логики охватывают лишь сравнительно узкую группу вопросов, относящуюся к методам построения теорий).

Таким образом, предмет методологии науки составляет внутреннее строение научно-исследовательской деятельности, рассматриваемой как со стороны ее содержания, так и организации»<sup>33</sup>. В рамках этого направления приоритетное внимание уделялось исследованию теоретического знания, механизмов его генезиса и развития. В результате были разработаны методологические принципы анализа научной теории, развиты понятия предмета и объекта исследования, теоретического и эмпирического, идеализированного объекта, абстракции и идеализации, мысленного эксперимента, теоретического синтеза, научной картины мира, стиля мышления и т. д.

Например, в центре внимания методологических дискуссий в нашей стране в 60–70-е гг. находилась проблема соотношения объекта и предмета исследования. Объект исследования — это часть реальности, которая может стать предметом исследования различных наук, рассматривающих интересующие их аспекты. Проблема заключается в том, что объект исследования может быть реконструирован лишь с помощью совмещения его различных срезов. Эти срезы как бы репрезентируют данный объект в той или иной идеальной действительности,

---

<sup>33</sup> Садовский В.Н., Юдин Э.Г. О специфике методологического подхода к исследованию систем и структур. В кн.: Логика и методология науки. IV Всесоюзный симпозиум. Июнь, 1965 г. М.: Наука, 1967, с. 191–192.

в которой разворачивается поле исследования, т. е. та предметная действительность или научная реальность, в которой осуществляется исследование в данной конкретной научной дисциплине. Объекты не существуют сами по себе, они включены в определенную деятельность, в частности научную. В этом случае они являются или объектами экспериментальной деятельности, или теоретическими объектами. Кроме того, в повседневной жизни нас окружают предметы, выделенные в социальной сфере, с которыми мы соприкасаемся в своей конкретной деятельности. Мы можем, конечно, подвергнуть их научному исследованию — любой из окружающих нас в повседневной жизни предметов, например стол, может быть исследован физиками или химиками, рассмотрен в микроскоп, подвергнут химическому анализу и т. д. Но в этом случае он перестает быть обычным предметом повседневной жизни. Для этих наук он является определенным материалом, имеющим соответствующий химический состав, или твердым телом, покоящимся либо движущимся в пространстве. Мы можем сказать, что этот предмет состоит из атомов или молекул, имеет статический заряд и т. д., однако это никак не определяет его социальное значение. По сути дела, разные объекты или предметы исследования соотносятся с совершенно различными картинками реальности — общее лишь то, что мы соотносим их с конкретным объектом нашей социальной реальности. То же можно сказать и о любом природном объекте — мы можем судить о нем, только если он включен в ту или иную деятельность, например исследовательскую, инженерную и др.

В процессе деятельности ее исходный материал преобразуется в результат, продукт. Для этого в начале своей деятельности человек должен иметь образ, модель объекта, включающую в себя представление об исходном материале деятельности и ее результате. Образы (модели) объекта изменяются в ходе деятельности, а сама деятельность может быть представлена как последовательная смена моделей объекта.

В современной науке все большую роль играют междисциплинарные исследования, позволяющие построить системную модель объекта исследования как результат синтеза представлений нескольких научных дисциплин. В этом случае мы как бы реконструируем сложный объект исследования, однако, по сути дела, конструируем его на основе синтеза различных теоретических схем. Вильям Гильберт, утверждая, что Земля — это большой магнит, и знание о ней можно получить, изучая ее модель — маленький магнит, выделял лишь один аспект изучения природного объекта «Земля». Мы можем на основе данных различных наук построить целостное представление об этом объекте, системную модель Земли. Но это все же будет идеализированная модель, основанная на имеющихся *сегодня* научных знаниях. Она может быть использована в разных практических целях, например для планирования горных разработок, совершенствования представлений о Земле и т. п., т. е. опять же в контексте наших самых разнообразных видов деятельности. Такая системная модель может

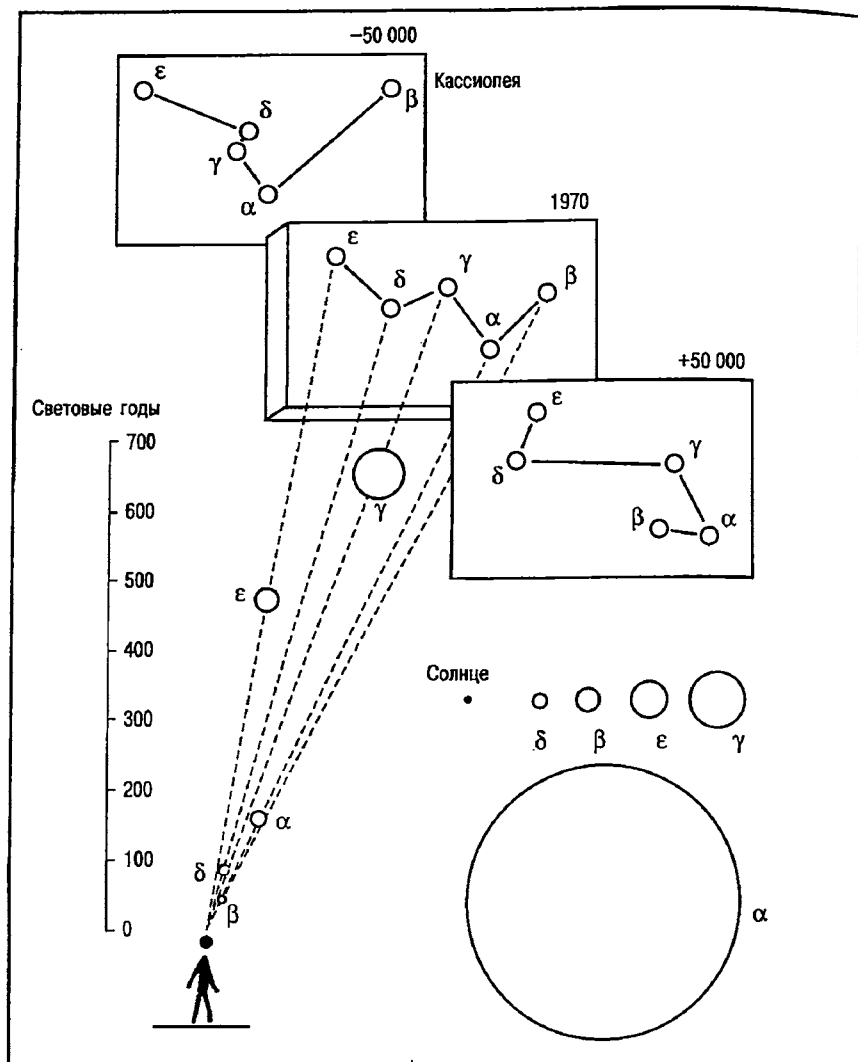
совершенствоваться и дополняться, но для соотнесения всех ее частичных моделей должна быть построена и соответствующая системная картина исследуемой реальности, позволяющая не только состыковать частичные модели и представления, но и соотнести полученный результат с тем или иным природным или техническим объектом.

Современный учитель, объясняющий ученикам строение Земли, отличается от первобытного человека лишь тем, что принимает на веру гипотезы ученых, а не переданные прежними поколениями мифы. Мы воспринимаем научную картину мира так же, как наши предки воспринимали его мифологическую картину. Это относится к области обыденного сознания. В сфере же науки (речь идет прежде всего о современном естествознании) теоретические представления и основанные на них гипотезы соотносятся в первую очередь не с социальной и природной реальностью, окружающей человека, а с экспериментом — искусственной реальностью, специально конструируемой учеными для проверки своих гипотез, — в этом случае мы должны говорить о теоретических и эмпирических (т. е. экспериментальных) объектах, включенных в соответствующую картину исследуемой реальности данной конкретной науки, а не об объекте и предмете исследования.

Важной темой для методологии науки является также обсуждение понятия «научный факт» и связанного с ним вопроса о критериях научности. Как уже отмечалось, упрощенное понимание такого критерия, как эмпирическая проверка соответствия всех утверждений науки научным фактам, часто ведет к неправомерному сужению самого понятия науки. Кроме того, в этом случае должно быть четко определено, что собой представляют научные факты. Если рассматривать их как атомарные факты, регистрируемые в так называемых протокольных предложениях, то это еще не гарантирует того, что данные предложения являются абсолютно истинными. Во-первых, даже элементарные эмпирические утверждения несут на себе груз объясняющих их теорий, а элементарные научные факты видятся сквозь призму этих теорий. Хорошо известно, что художник, например, различает гораздо большее количество оттенков цветов, а винодел — вкусовых оттенков вина, чем обычный человек. То же наблюдается и в сфере науки. Каждый ученый придерживается определенной теории и отвергает иные гипотезы и теории. Кроме того, он является человеком своего времени и общества, является приверженцем той или иной научной школы. Все это предопределяет не только интерпретацию, но и определение научных фактов. Следует добавить историческую обусловленность самого научного факта. Иллюстрация такой обусловленности — приведенный в книге А. Сцабо простой пример из области астрономической науки (рис. 5)<sup>34</sup>.

Когда мы говорим о Вселенной, особенно о видимых нами звездах и созвездиях, нам представляется нечто грандиозное и вечное в

<sup>34</sup> Рисунки взяты из книги: Szabo A. Das geozentrische Weltbild. Astronomie, Geographie und Mathematik der Griechen. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1922.



**Рис. 5. Историческая обусловленность научного факта:**  
 созвездие Кассиопеи 50 000 лет назад – в 1970 г. – через 50 000 лет

отличие от изменчивого земного мира. И если мы называем конкретное созвездие как объект исследования (например, широко известное созвездие Кассиопеи), то предполагается, что речь идет о точно установленном и неизменном научном факте. Однако наше представление о том, как выглядит это созвездие, отличается от представлений наблюдателей, живших 50 000 лет назад, и, конечно, не будет совпадать с представлениями о нем будущих поколений, не говоря уже о

способе наблюдения. Следовательно, каждый элементарный научный факт *не только теоретически, но и исторически обусловлен*. Хотим мы этого или нет, но философия науки, а вслед за ней и сама наука обязаны учитывать все возникающие в связи с этим проблемы.

Столь же интенсивной была дискуссия в области философских вопросов естествознания о *соотношении объекта и субъекта познания*. Действительно, в любом научном исследовании существует субъект, т. е. исследователь, и объект, т. е. изучаемый этим исследователем научный материал или вопрос. Однако такое статическое противопоставление объекта и субъекта познания затрудняет понимание сути научного исследования. В сущности, и объект, и исследующий его субъект объединены в единое целое. Изоляция объекта от субъекта может привести к появлению ошибочных представлений. В современном физическом эксперименте ученый не может абстрагироваться, как было в классической науке, от влияния экспериментатора, которое необходимо учитывать. Поэтому объектом исследования современной науки становится ситуация «объект—субъект» или, точнее, «объект—субъект—познание». Следует добавить, что сам субъект понимается в данном случае не как абстрактный, изолированный индивид-исследователь, а как совокупный познавательный субъект, исторически обусловленный и соотносительный с современным социумом. Кроме того, в познавательной ситуации должны быть учтены и рефлексивные отношения, т. е. формы осознания науки, в том числе философские и методологические, поскольку философские и методологические концепции оказывают прямое или опосредованное влияние на интерпретацию конкретных естественнонаучных теорий, обеспечивая соотношение специальных и общей научной картин мира. Важно только иметь в виду, что такая взаимосвязь является сложным многоуровневым и итерационным процессом.

*Философско-методологический анализ* науки может быть направлен на исследование как науки в целом, так и отдельных дисциплин, но даже если они строятся в основном на материале физики и математики, на их примере рассматриваются общенаучные закономерности. С точки зрения философской методологии анализируются общие принципы познания и категориальная структура науки в целом. При этом философская методология является разделом философского знания и использует специфические для философии методы. Она осуществляет критический анализ существующего научного знания и дает мировоззренческую интерпретацию результатов науки.

Кроме того, в последние десятилетия появился целый ряд *общенаучных методологических концепций* типа кибернетической методологии и системного подхода, которые тесно связаны с философско-методологическим анализом науки, но не являются, строго говоря, частью философского исследования. К общенаучным относятся такие понятия, как «информация», «вероятность», «дополнительность», «система», «модель» и др., а к общенаучным (но не философским методам) — кибернетические, логико-математические, системно-структурные, вероятностно-статистические и другие методы. Общенаучный

характер проблем не означает, однако, что они обязательно относятся ко всем отраслям науки и техники. Они не могут быть отнесены также ни к одной из существующих научных дисциплин и занимают промежуточное место между философской методологией и конкретными разработками в области методики и техники исследования в какой-либо научной дисциплине.

*Конкретно-научная методология* предусматривает использование совокупности методов, принципов исследования и процедур, применяемых в какой-либо специальной научной дисциплине или сфере проектирования. Существует, например, методология биологического, физического, научно-технического исследований и методология проектирования, например сложных технических систем, организационного или инженерного проектирования конкретного типа устройств. Объектом методологического анализа могут стать и отдельные методы, понятия и проблемы научного и технического знания. Именно анализ конкретно-научного материала позволяет соотнести методологию научного познания с самим научным исследованием. Конкретно-научная методология непосредственно соотносится с методикой и техникой исследования и проектирования. Сущность методологического анализа в данном случае заключается в организации методической и теоретической базы той или иной научной или инженерной дисциплины. При этом необходимо, однако, различать методологическую и методическую деятельности.

В *методической деятельности* осуществляется, реализация специальных *методологических* рекомендаций. Методики, справочники, каталоги, типовые расчеты, стандарты и рабочие инструкции регламентируют практическую (в частности, исследовательскую и проектную) деятельность. Цель методических руководств — упорядочение, универсализация и стандартизация, закрепление и детальная регламентация уже существующих процедур деятельности. Методическая деятельность всегда ориентируется на уже имеющиеся образцы. Методические положения — это предписания к построению копий с образцов данной деятельности. Если даже обращение к справочникам и каталогам не позволяет решить те или иные научные и технические задачи в различных сферах научной и проектной деятельности, методист, используя всю совокупность правил, понятий, методов, представлений и формализмов различных научных теорий, а также методологические рекомендации, может оказать соответствующую помощь. При этом имеются в виду трудности, которые не могут быть преодолены лишь в рамках данной конкретной деятельности. Методики, типовые расчеты и инструкции как продукт методической деятельности всегда ориентированы на разные классы научных и инженерных задач, а методические положения являются средством решения этих задач. Если же те или иные направление или деятельность являются новыми и, следовательно, образцы, которые могли бы быть описаны в методических положениях, отсутствуют или их недостаточно, то требуются специальные (конкретно-научные) *методологические* разработки. Методолог транслирует подсказку (образец, по которому можно по-

строить соответствующую конкретную исследовательскую или проектную процедуру) из других областей науки или инженерной деятельности, различных сфер культуры, истории, философии и т. д. В этом случае методолог, как *Deus ex machina* (Бог из машины) в античном театре, разрешает все запутанные ситуации.

Иногда методологию разделяют на нормативную (конструктивную) и дескриптивную (описательную). Но, строго говоря, любая методологическая деятельность предполагает не только осмысление накопленного опыта и фиксацию этого опыта в методологическом осознании (обобщение), но и определение перспектив развития, разработку положительных рекомендаций и правил осуществления исследовательской и проектной деятельности, создание средств, приемов и понятийных схем этой деятельности, ее норм, образцов и идеалов, определение форм организации научного и технического знания. Зачастую методологический анализ действительно предполагает лишь ретроспективное описание уже осуществленных процессов познания и проектирования, т. е. анализ уже существующего научного и технического знания. Однако даже в этом случае изучаются тенденции и формы развития научного знания, методы его получения, понятийные схемы и схемы объяснения — с целью, например, переноса образцов научной деятельности или этих понятийных схем из одной научной дисциплины в другую. Такой перенос без предварительного методологического анализа является, как правило, некорректным — примером может служить использование структурных схем теории автоматического регулирования для описания и объяснения социальных процессов в общественных структурах. Попытки прямого переноса методов и представлений, например из физики в социологию, также часто приводят к парадоксальным суждениям и слишком упрощенной трактовке социальных явлений.

Разграничение дескриптивной и нормативной методологии объясняется проникновением проектной установки из сферы инженерии в самые различные области общественной жизни, в том числе и в науку. С развитием методологии экспериментального естествознания научное исследование рассматривается не как пассивное наблюдение за естественным ходом природных процессов, а как активное вмешательство в природные процессы с использованием технических средств. Эта новая методология экспериментального научного исследования, в свою очередь, стимулировала развитие инженерной деятельности, основывающейся на науке, научных расчетах, научном предвидении. Все больший вес в инженерной деятельности приобретает инженерное исследование и проектирование. Проектирование становится не только самостоятельным видом деятельности внутри инженерии, но и выходит за ее пределы в самую широкую социальную сферу. Сегодня часто упоминается не только инженерное и системотехническое, но и социотехническое и даже социальное проектирование. Даже в самом научном исследовании идеализированное конструирование рассматривается как основополагающая деятельность. Слишком широкое толкование проектирования как процесса, затрагивающего все сферы

человеческой жизнедеятельности, вряд ли оправдано. В этом случае уместно вспомнить царя Мидаса, который, согласно древнегреческой мифологии, по приговору богов превращал в золото все, к чему прикасался, в том числе и пищу, вследствие чего должен был умереть от голода. Точно так же и предельная генерализация таких понятий, как «проектирование» или «научное знание», приводит к аналогичному парадоксу: все, о чем бы мы ни рассуждали, может быть в этом случае трактовано или как проектирование, или как научное знание. Тогда и научное исследование — это проектирование, а проектирование — разновидность исследования. Однако если рассматривать эти понятия — «проектирование» и «исследование» — как методологические установки, отражающие интенцию или на изучение тенденций, или на прогнозирование будущих ситуаций, то следует говорить о методологии исследования и проектирования, учитывая, однако, что в реальной деятельности эти интенции зачастую настолько неразрывны, что трудно определить, какая из них превалирует.

Современная методология исследования и проектирования, являясь частью философии науки и техники, преимущественно ориентируется на содержательный методологический анализ структуры и анализ теоретического знания, а на этой основе — на разработку методологических образцов организации научного знания. Это характерно практически для всех современных методологических концепций науки. При этом методолог исследует научную и проектную деятельность как бы со стороны, выходя за ее пределы. Такую позицию может занять и ученый, одновременно осуществляющий научную деятельность в конкретной дисциплине и рефлектирующий эту деятельность в качестве методолога. В настоящее время, однако, эти две позиции, как правило, профессионально разделены (рис. 6).

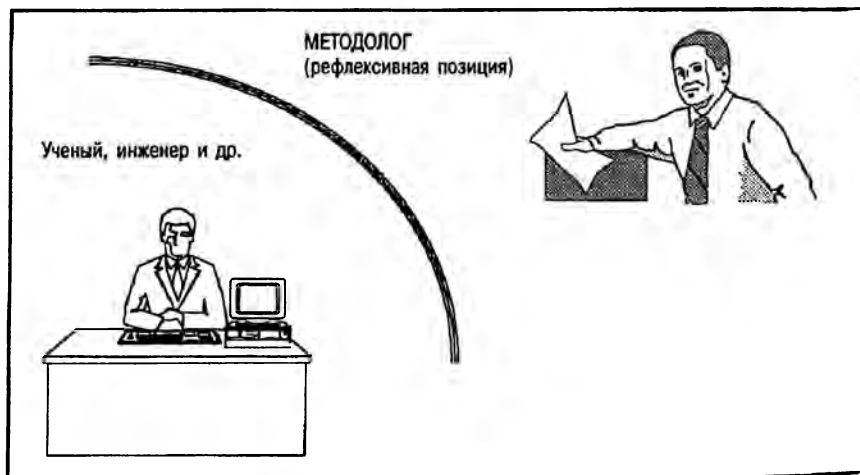


Рис. 6. Две позиции, между которыми складываются рефлексивные отношения



Между этими позициями складываются рефлексивные отношения. «Представим себе, что какой-либо индивид производит деятельность, заданную его целями (или задачей), средствами и знаниями, и предположим, что по тем или иным причинам она ему не удастся: либо он получает не тот продукт, который хотел, либо не может найти нужный материал, либо вообще не может осуществить необходимые действия. В каждом из этих случаев он ставит перед собой (и перед другими) вопрос: почему у него не получилось и что нужно сделать, чтобы все-таки получилось то, что он хочет»<sup>35</sup>. В нашем случае такой деятельностью является деятельность ученого и инженера, перед которыми в данном случае ставится задача разработать план или проект их предстоящей деятельности. Чтобы выработать такой план, они вынуждены обратиться к «анализу и осознанию уже выполненных раньше деятельностей и полученных в них продуктов»<sup>36</sup>. А это уже *методологическая* задача. Чтобы решить ее, индивид «должен выйти из своей прежней позиции деятеля и перейти в новую позицию, внешнюю как по отношению к прежним, уже выполненным деятельностям, так и по отношению к будущей, проектируемой деятельности... Это и будет... *рефлексивным выходом*; новая позиция деятеля, характеризующаяся относительно его прежней позиции, будет называться *рефлексивной позицией*, а знания, вырабатываемые в ней, будут *рефлексивными знаниями*, поскольку они берутся относительно знаний, выработанных в первой позиции»<sup>37</sup>. Эта последняя позиция и является фактически методологической позицией, а знания, выработанные в ней, — методологическими знаниями. Если оба вида деятельности выполняются одним и тем же ученым, то говорят о «заимствованной позиции», которую он временно занимает, например выполняя функции методолога, используя «принцип двойного знания» и работая параллельно или попеременно в этих двух позициях. Это было характерно в основном для науки и философии прошлого — в современной науке данное явление получило название *внутринаучной рефлексии* развития научного знания. Однако в условиях развитой кооперации различных видов деятельности в современном обществе оба вида деятельности, как правило, разделяются, и между ними могут формироваться рефлексивные отношения различной иерархии. При этом не следует забывать, что развитие современной методологии науки было обусловлено именно необходимостью *внутринаучной рефлексии* в таких новых областях науки, как квантовая механика, кибернетика, системный анализ и др.

Промежуточную позицию между методологом и ученым (внешнюю по отношению к науке) занимает историк науки и техники. Поскольку современные концепции методологии науки так или иначе

---

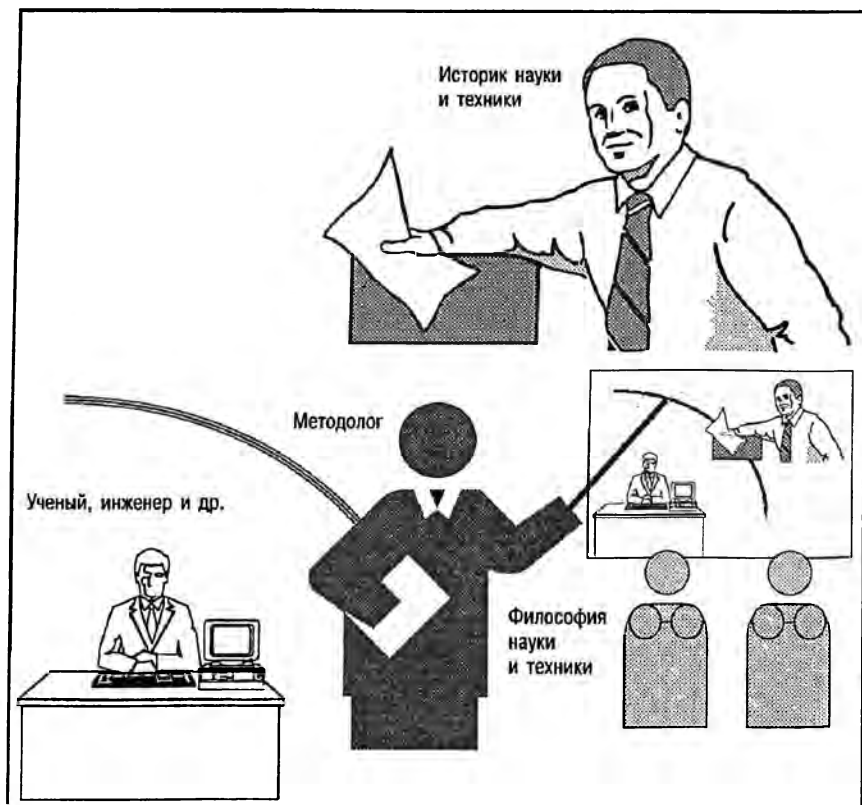
<sup>35</sup> Щедровицкий Г. П. Автоматизация проектирования и задача развития проектной деятельности. В кн.: Разработка и внедрение автоматизированных систем в проектировании (теория и методология). М.: Стройиздат, 1975, с. 136.

<sup>36</sup> Там же, с. 137.

<sup>37</sup> Там же, с. 138.

связаны с анализом истории науки, то взаимодействие между методологом и ученым еще более усложняется (рис. 7), особенно если подразумевается передача знаний о науке в ходе учебного процесса.

В этом случае имеются уже два уровня рефлексии над наукой: первый осуществляет историк науки и техники, а второй — методолог исследования и проектирования, который обязан охватить всю ситуацию в целом, т. е. исследовать деятельность не только ученого или инженера на переднем крае научного исследования, но и историка, описывающего возникновение и развитие этой деятельности. Именно эти представления о науке в сложном взаимодействии ее исторического изучения, современных исследований и подготовки новых научных кадров и должны стать предметом курса «Концепции современного естествознания», в котором изучаются современное состояние научных исследований, история науки и техники и современные методологические концепции науки.



**Рис. 7. Усложнение взаимодействия между методологом и ученым с появлением историка науки и техники**

## Глава 2. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ В ФИЛОСОФИИ НАУКИ

Развитие науки как социального института (так называемой большой науки). Ее все более усиливающееся влияние на техническую практику, а посредством нее и на все сферы жизни общества, а также потребности науки в обосновании научного знания в связи с кризисом классического естествознания и новейшей научной революцией обусловило вычленение особого раздела философского знания — философии науки. Именно в современной философии науки были предприняты попытки представить науку как целое, как некоторую самодостаточную систему научного знания и деятельности по производству этого знания, рассмотренную в ее историческом развитии и изменяющемся социокультурном контексте<sup>1</sup>.

Существует несколько взаимосвязанных способов описания науки: ее можно рассматривать, как уже упоминалось, с синхронической и диахронической точек зрения.

Имеются также статическая и динамическая модели науки: в первом случае выделяются фиксированные уровни, элементы и связи, во втором речь идет о функционировании, генезисе или развитии науки. *Функционирование* предполагает движение по статической структуре системы науки, но без изменения ее компонентов и связей, т. е. в процессе функционирования системы ее структура остается неизменной в отличие от процессов ее формирования и развития. При исследовании *генезиса* науки выявляются этапы и фазы становления ее развитой структуры как некой *естественно* саморазвивающейся системы. Необходимо также анализ сознательного формирования научной дисциплины, т. е. процедур ее построения с *искусственной* точки зрения, поскольку речь идет не только об описательном методологическом исследовании того, как складывается научная теория или дисциплина, но и о конструктивном методологическом анализе процедур ее построения с целью последующего повторения. Оба эти аспекта тесно взаимосвязаны.

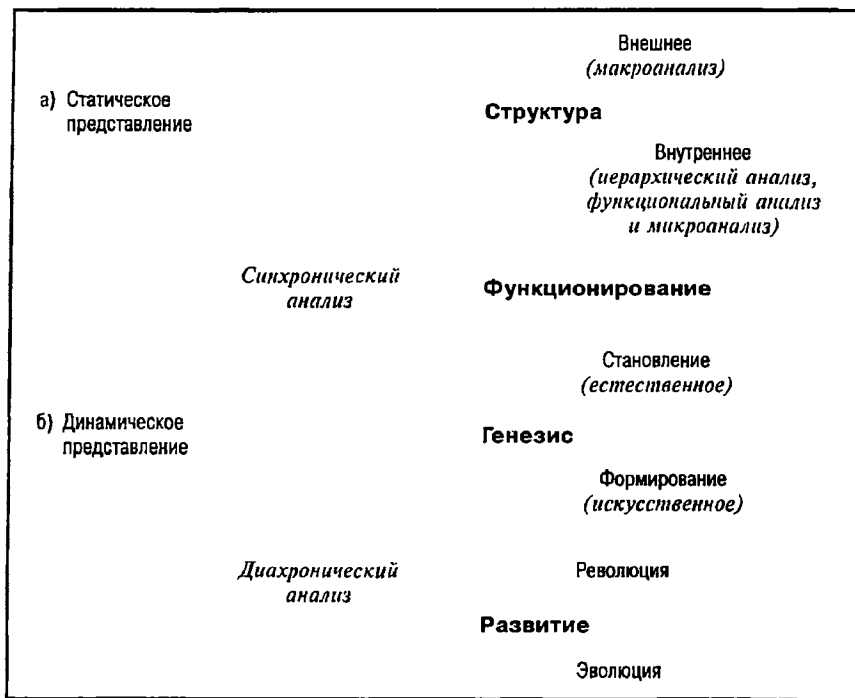
*Развитие* науки отличается от ее функционирования тем, что система науки рассматривается в этом случае как изменяющаяся величина. Поэтому необходимо сопоставление данного состояния системы науки с существующими и предыдущими для прогнозирования

---

<sup>1</sup> *Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А.* Философия науки и техники. М.: Фирма «Гардарика», 1996, с. 9.

дальнейшего развития науки. Необходимо также, как уже говорилось, разграничивать внешненаучные и внутринаучные отношения, что является реализацией процедуры вложения внутренней структуры системы в ее внешнюю структуру. Для методологического анализа науки важны оба вида отношений, учитывая которые, можно выделить и два пути развития науки — внешний и внутренний.

Выделим основные модели науки: структуры, функционирования, генезиса (формирования) и развития, — имея в виду, что каждая из них может отражать преимущественно или внутренние или внешние аспекты научной дисциплины или теории (рис. 8).



**Рис. 8. Системное представление структуры и развития науки**

Одна из важнейших проблем, широко обсуждаемая в современной методологии науки, — выбор адекватной единицы методологического анализа. С точки зрения логического позитивизма таковой традиционно считалась единичная теория. При анализе генезиса и развития научного знания сегодня предлагаются иные единицы методологического анализа: парадигма, концептуальная система, дисциплинарная матрица, исследовательская программа, научная область, исследовательская традиция и др. Наиболее адекватной единицей является *научная дисциплина*, позволяющая учесть не только теоретические формы научного знания, но и другие аспекты научной деятельности

(социальные, организационные, коммуникационные и т. д.), весьма важные прежде всего для понимания динамики науки.

В дальнейшем мы будем анализировать лишь наиболее характерные современные западные модели науки, имея в виду, во-первых, что каждая такая модель рассматривается в работах нескольких авторов (например, эволюционная модель науки развивается в работах не только С. Тулмина, но и К. Поппера и др.), а во-вторых, что многие методологи науки не ограничиваются разработкой только одной модели подобного рода — как правило, в их работах, хотя иногда и в виде наметок, присутствуют описания нескольких моделей науки. Например, И. Лакатос, по-видимому, в значительной степени под влиянием идей Т. Куна, вводит в свою концепцию науки не только модель внутреннего функционирования научного знания, но и модель его развития, утверждая, что каждый период развития науки характеризуется конкурентной борьбой нескольких исследовательских программ. Однако мы будем рассматривать каждую концепцию, абстрагируясь от этого явления и реконструируя часто нечетко представленные в этих концепциях модели науки — ее структуры, внешнего и внутреннего функционирования, генезиса и развития (рис. 9).

## 1. Статическая модель структуры науки

Именно статическая модель науки была построена в результате реализации неопозитивистской программы построения логики и методологии науки, получившей название «стандартной концепции». В неопозитивистской программе методология сводится к логике науки, которую следует понимать как анализ логического строения языка науки, а в качестве образца построения любой теории рассматривается аксиоматический идеал организации научного знания. Неопозитивистская программа логического анализа структуры науки опиралась на реальные достижения в этой области, полученные прежде всего на материале исследования строения и обоснования математических теорий средствами математической логики. Главная идея заключалась в том, чтобы использовать выработанные в математической логике средства анализа для исследования языка науки вообще и физической теории прежде всего. В качестве единицы методологического анализа была выбрана единичная теория, понимаемая как множество высказываний, включающих в себя язык наблюдения (эмпирический уровень), теоретические конструкты и словарь логических терминов (метатеоретический уровень). Последние не несут в себе знания о какой-либо реальности, поскольку ориентированы на описание самой теории.

Основными исходными пунктами неопозитивистской концепции науки были редукционизм, физикализм и демаркация науки от метафизики.

*Редукционизм* (в первоначальном виде) — это утверждение о том, что теоретический словарь определяется эксплицитно с помощью

**ТРАДИЦИОННАЯ  
ФИЛОСОФИЯ****ФИЛОСОФИЯ НАУКИ****Неопозитивизм****Постпозитивизм**  
(динамические модели  
истории науки)

Натурфилософия  
(невозможно проверить;  
является спекулятивным  
творчеством и фантазией)

Методология как логика  
(и верифицируемость)

**Поппер** —  
логика исследования  
(и фальсифицируемость)  
(внешнее функционирование)

Спекулятивная философия —  
закрытая система

Научная философия —  
открытая система

**Лакатос** — рациональная  
реконструкция  
и методология научно-  
исследовательских программ  
(внутреннее  
функционирование)

Философская онтология  
(учение об основаниях  
бытия = описывает общие  
характеристики мира)

Логический анализ  
языка + редукционизм  
(дедуктивная система +  
индукция)

**Фейерабенд** —  
методологический анархизм  
и плюрализм  
(внешний генезис)

Метафизика  
(содержит лишь набор  
бессмысленных слов)

Философская рефлексия  
основных понятий  
и предложений  
конкретной науки  
(отдельных  
математизированных  
и экспериментальных  
теорий);  
физикализм

**Койре** — (внутренний)  
историко-критический  
концептуальный анализ  
(внутренний генезис)

Рационализм  
(разум является  
независимым источником  
познания физического мира)  
и эмпиризм  
(наблюдение является  
собственным источником  
и последней инстанцией  
всех знаний)

Логический эмпиризм  
(используется метод  
символической логики для  
анализа познания; научное  
познание появилось  
благодаря применению  
рациональных методов,  
требующих приложения  
разума к объяснению  
материала наблюдений);  
комбинация математики  
с наблюдением

**Кун** —  
структура научных  
революций  
(социология науки)

Кумулятивная модель  
научного развития

**Тулмин** — эволюционный  
анализ понятий

**Рис. 9.** Основные направления философии науки

правил соответствия на базе языка наблюдения. Этот принцип получил название *верификации*, т. е. проверки соответствия всех теоретических утверждений опыту или эмпирическим высказываниям. По первоначальному замыслу все теоретические понятия и высказывания, не несущие в себе эмпирического содержания, должны быть устранены из науки. Однако, как показали попытки реализации этого принципа, пунктуальное следование ему привело бы к устранению из науки многих очень важных, хотя и непроверяемых эмпирическим путем, понятий и утверждений, а кроме того, сама эта проверка не всегда возможна. Поэтому принцип верификации был заменен принципом *верифицируемости*, т. е. потенциальной проверяемости теоретических высказываний и их так называемой частичной и косвенной интерпретации. В последнем случае эмпирической проверке подвергается теория в целом, а не ее отдельные высказывания и понятия. Ослабление редукционизма заключалось также в утверждении, что правила соответствия, представляющие собой мост между теоретическим и эмпирическим знанием, лишь частично определяют теоретические термины.

*Физикализм*, как программа создания унифицированной науки — это сведение различных языков науки (химического, биологического, психологического, социологического и др.) к языку физики (2-я ступень редукции), а через него, как наиболее легко верифицируемого, — к языку наблюдений (1-я ступень редукции). Примером может быть сведение термодинамики к механике или биологии и химии к физике. Это объясняет появление широко известного утверждения, что язык физики является универсальным языком науки. Попытки реализовать программу сведения «вторичных наук» к «первичной науке» привели к распространению логико-математического образа науки сначала на физику, а затем и на другие естественные (например, биологию) и даже социальные (например, экономику) науки. Трудно в полном объеме определить позитивные результаты этого опыта (вероятно, отчасти этим идеям мы обязаны, например, появлению бихевиоризма в психологии или социальной физики), однако его негативный результат стал причиной практически полного отказа научного сообщества от этой программы. По словам Э. Нагеля, например, целью редукции является доказательство того, что законы или общие основополагающие высказывания вторичной науки являются просто логическими следствиями предположений первичной науки. Это означает, что в процессе редукции постулируется неизменность значения понятий. Критики неопозитивизма, в частности Фейерабенд, отмечают, что инвариантность значения понятий в различных теориях принимается позитивистами без доказательства. Кроме того, не совсем ясно, насколько достоверны сам эмпирический язык науки, его атомарные факты и так называемые протокольные высказывания, фиксирующие простейшие наблюдаемые и экспериментальные ситуации; что гарантирует их столь некритически воспринятую абсолютную достоверность, позволяющую считать их основанием науки; в какой степени этот язык вообще может рассматриваться независимо от теоретического языка, т. е. от определенных теоретических предпочтений.

То же можно сказать и о выдвинутой в весьма жесткой форме *проблеме демаркации науки от метафизики*, или разграничения философии и науки. Согласно исходному требованию все философские теории и высказывания должны быть изъяты из науки как бессмысленные, так как они вообще не могут быть верифицированы, т. е. нельзя судить об их истинности или ложности. В науке могут использоваться лишь метатеоретические логические терминны и высказывания. Карл Поппер ослабил это требование, считая философские утверждения хотя и не верифицируемыми и не принадлежащими эмпирической науке, но все же осмысленными. По мнению Койре, Лакатоса, Фейерабенда и других философов науки, философская рефлексия над наукой оказывает существенное влияние на ее развитие, поэтому необходим совместный анализ развития науки и философских воззрений.

Исходя из этих во многом ложных предпосылок, а часто вопреки им в работах неопозитивистов (Р. Карнапа, Г. Фейгля, Ф. Франка, Г. Райхенбаха, К. Гемпеля, Э. Нагеля и др.) сформировалась определенная и довольно цельная *философско-методологическая концепция науки*, или, скорее, научной теории, получившая название «стандартной концепции».

Все неопозитивисты, как правило, пришли в философию из различных областей науки, но работали главным образом в философской сфере, или, вернее, на стыке философии и конкретных наук.

Рудольф Карнап (1891–1970), например, первоначально изучал математику и философию, затем физику и философию. Во время первой мировой войны он работал в военном институте над проблемой создания беспроволочного телеграфа и телефона, после войны написал докторскую работу «Пространство. Вклад в учение о науке»<sup>2</sup>.

В этой работе показано, что математики, физики и философы используют одно и то же понятие «пространство» в трех различных смыслах – формального, созерцательного и физического пространства. Формальное пространство представляет собой абстрактную систему, поэтому наши знания о нем являются знаниями логического свойства. Созерцательное пространство аналогично кантовскому «чистому созерцанию», основанному, однако, не на трехмерной евклидовой структуре, которая, по мнению Карнапа, является чересчур эмпирической, а на известных топологических свойствах. Знание о физическом пространстве является полностью эмпирическим.

Целью работы было исследование роли неевклидовой геометрии в теории Эйнштейна. Профессор физики, которому Карнап показал набросок этой работы, отправил автора на кафедру философии, где, в свою очередь, ему сказали, что тема его работы больше относится к физике.

Книга Рассела и Уайтхеда «Принципы математики», теория относительности Эйнштейна, а также «Логико-философский трактат» Витгенштейна оказали огромное влияние на Карнапа и других представителей так называемого Венского кружка<sup>3</sup>.

---

<sup>2</sup> Carnap R. Der Raum. Ein Beitrag zur Wissenschaftslehre. Berlin: Verlag von Reuther & Reichard, 1922.

<sup>3</sup> Венский кружок, основанный в 1923 г. в Вене, представлял собой группу ученых и философов, составивших ядро того направления в философии науки, которое получило название неопозитивизма или логического позитивизма. Основателем этой группы считается немецкий философ и физик Мориц Шлик (1882–1936),



Членами Венского кружка были немецкий физик и философ Райхенбах, экономист Хан, социолог Нейрат, философ Виктор Крафт, ученые более молодого поколения Вайсманн и Фейгль, а позже математики Менгер, Гёдель и Бергманн. По мнению Карнапа, плодотворной совместной работе способствовало наличие у всех участников кружка не только философского, но и специального научного образования и знания современной символической логики. Все участники кружка отрицали традиционную метафизику и стремились использовать в дискуссиях не высказывания из традиционного философского языка, а точный язык логики, математики и эмпирической науки.

С 1931 по 1935 г. Карнап работает на естественнонаучном факультете Немецкого университета в Праге по приглашению Филиппа Франка (1884–1966), физика и философа, который с 1938 г. стал профессором Гарвардского университета (США). В 1935 г. Карнап имигрирует в США, где в 1936–1952 гг. становится профессором Чикагского университета, в 1952–1954 гг. работает в качестве научного сотрудника в Принстоне, а в 1954–1961 гг. — в качестве профессора в Лос-Анджелесе.

Как отмечает Карнап, его скептическое отношение к метафизике сформировалось под влиянием антиметафизических настроений таких ученых, как Кирхгоф, Герц и Мах, а также философов Авенариуса, Рассела и Витгенштейна, в результате чего он оценивал традиционные метафизические тезисы не только как ненужные, но и как не имеющие какого-либо когнитивного содержания. Однако обозначение этих тезисов как «бессмысленных» в то время вызвало ненужное сопротивление даже тех философов, которые придерживались аналогичных позиций, поэтому, по мнению Карнапа, было бы лучше назвать их не имеющими теоретического значения <sup>4</sup>.

Наиболее рельефно структура научной теории в качестве единицы методологического анализа была представлена К. Гемпелем <sup>5</sup> в модели теории как сложной сети. Ее термины — это узлы; нити, связывающие их, — определения и гипотезы, входящие в теорию. Вся эта сеть находится над плоскостью наблюдения и закрепляется с помощью правил интерпретации — нитей, не являющихся частью самой сети. Функционирование теории согласно этой модели происходит за счет движения от плоскости наблюдения через интерпретационные нити к теоретическим терминам, затем с помощью определений и гипотез — к другим пунктам теоретической сети, а от них опять через интерпретационные нити спускается к плоскости наблюдения (рис. 10).

Аналогичную послонную модель строит и Р. Карнап. Первоначально используется двухслойная модель, состоящая из языка наблюдения и теоретического языка. Наука начинается непосредственно с наблюдаемых фактов. Предметный язык наблюдения отражает непосредственные ситуации наблюдения. Высказывания наблюдения (протокольные предложения) являются абсолютно подтверждаемыми, имеют полностью опре-

---

который изучал физику в Берлине у Макса Планка и в 1904 г. защитил свою первую диссертацию. Вторая его диссертация, которую он защитил в Росток в 1911 г., была посвящена исследованию понятия истины в современной логике. С 1917 по 1921 г. Шлик был профессором физики и философии в Росток, с 1921 по 1922 г. — в Вене. Кроме того, дважды (в 1929 и в 1931/32 гг.) он был приглашен гостевым профессором в Калифорнийский университет (США).

<sup>4</sup> Carnap R. *Mein Weg in die Philosophie*. Stuttgart: Philipp Reclam, 1993.

<sup>5</sup> Карл Гемпель — немецкий философ, член Берлинской группы, примыкавшей к Венскому кружку, с 1937 г. — профессор Йельского и Принстонского университетов.

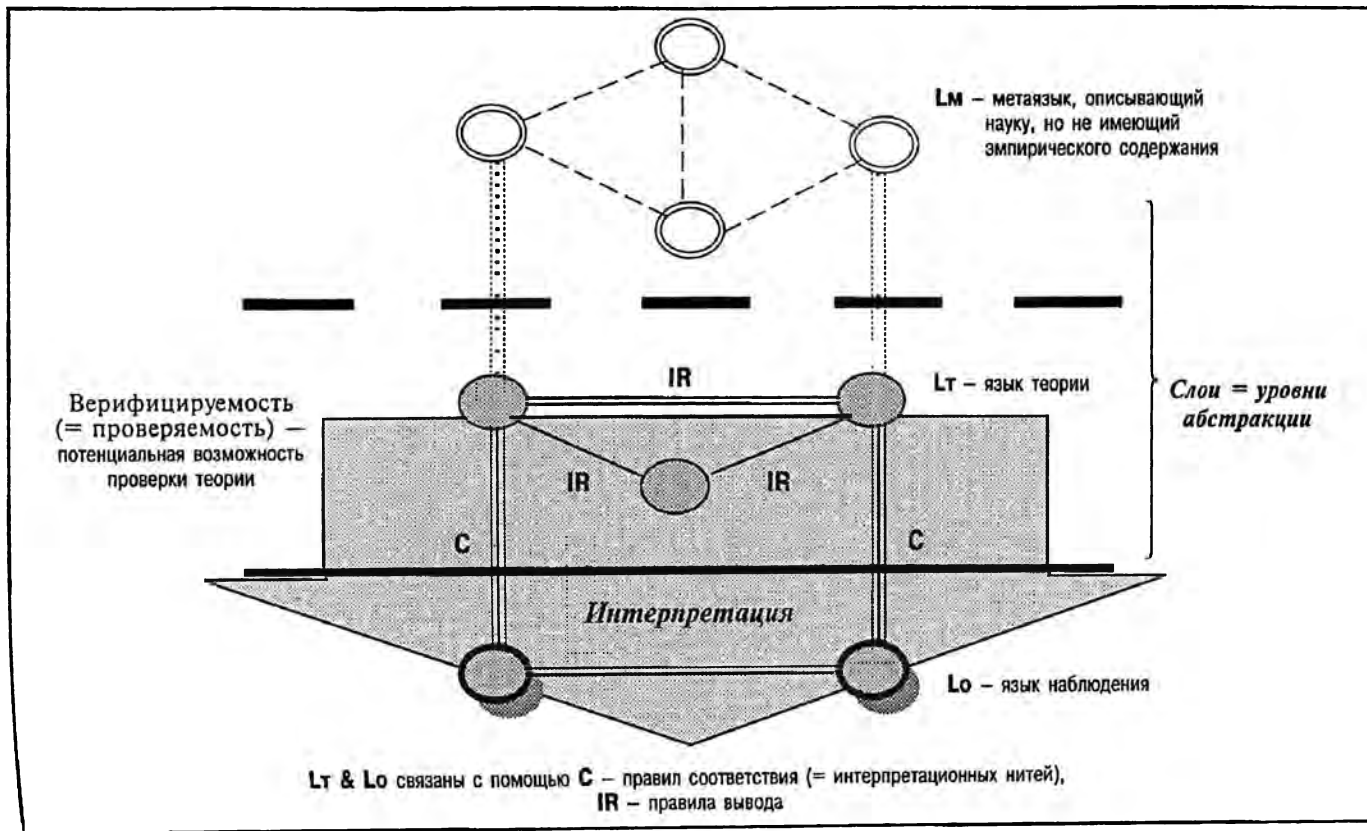


Рис. 10. Модель теории как сложной сети (по Гемпелю и Карнапу)

деленное эмпирическое содержание и могут быть результатом индуктивных обобщений. Первоначально неопозитивисты основывали их на субъективных чувственных данных и ощущениях какого-либо отдельного существа, наделенного восприятием, позднее они сформулировали принцип интерсубъективности высказываний наблюдения. Регулярности не наблюдаются непосредственно, а обнаруживаются, лишь когда наблюдения сравниваются друг с другом. Эти регулярности выражаются с помощью утверждений, называемых законами, которые используются для описания и объяснения уже известных и предсказания еще неизвестных фактов. Научный факт – это единичное, а закон – универсальное утверждение, включающее в себя:

эмпирические обобщения, которые содержат непосредственно наблюдаемые или измеримые сравнительно простым, непосредственным путем термины;

теоретические (абстрактные или гипотетические) законы, которые имеют дело с теоретическими понятиями о ненаблюдаемых непосредственно объектах (например, электрические частицы или электромагнитное поле).

Теоретический словарь содержит исходные (логические и дескриптивные) и переменные константы; правила построения предложений (формул); аксиомы (положения, принимаемые без доказательства), теоремы и правила вывода теорем из аксиом. Таким образом, физическая теория может быть аналитически разделена на абстрактное исчисление, постулаты которого являются не высказываниями, а основополагающими понятиями, неявно определяющими данную теоретическую систему, и правила соответствия, соединяющие теоретические понятия с опытом наблюдения или экспериментальными понятиями и создающие возможность применять теорию в качестве инструмента объяснения и предсказания, а также исследовать ее истинность или ложность. В этом и состоит отличие дедуктивных систем физики от теорий в математике, которые не требуют обращения к действительности. Цель эмпирической науки – классификация и предсказание результатов наблюдения, а особенность современной науки – наличие в ней математики (математизированной теории) и экспериментального метода.

В науке могут быть выделены количественные и качественные законы. Количественный метод вводит символы для функций, имеющих числовое значение, а к закону в численной форме можно применить математику (дедуктивный вывод) и таким образом делать предсказания. Причем количественный метод позволяет выражать законы в виде математических функций, благодаря чему предсказания могут быть сделаны наиболее эффективным и точным способом.

Все эмпирическое познание в конечном счете основывается на наблюдениях, которые могут быть пассивными и активными. Последние представляют собой эксперимент. Вместо того чтобы ожидать природную ситуацию наблюдения, мы пытаемся создать ее самостоятельно. Общие черты экспериментального метода:

основанность на количественных понятиях, которые могут быть точно измерены;

выделение существенных факторов (несущественные факторы не принимаются во внимание; их влияние на эксперимент считается незначительным);

восприятие одних существенных факторов в качестве постоянных, других – в качестве изменяющихся.

Так же как отдельные единичные факты занимают определенное место в упорядоченной схеме, когда они обобщаются в эмпирическом законе, так и единичные и обособленные эмпирические законы приспособляются к упорядоченной схеме теоретического закона. Однако теории выдвигаются не в качестве обобщения фактов, а как гипотезы, которые затем проверяются, т. е. из них выводятся некоторые эмпирические законы, в свою очередь проверяемые с помощью наблюдаемых фактов. Подтверждение законов, сформулированных на основе выводов, косвенно подтверждает теоретические законы. Изящество и простота теоретической системы имеют большое значение, но

главное — это предсказательная сила теории, т. е. возможность предсказывать новые эмпирические законы. При этом никакая гипотеза не может претендовать на научность, если отсутствует возможность ее проверки. Правила соответствия и позволяют подтвердить теорию.

На более поздних этапах эта двухслойная модель заменяется многослойной, дополняется новыми промежуточными слоями. По Карнапу, например, это диспозиционные (операциональные) термины, которые могут быть получены на основе наблюдения за одним или несколькими этапами в отличие от теоретических конструктов, характеризующихся неполнотой интерпретации, получаемой в значительной степени косвенным путем<sup>6</sup>.

Последующая за неопозитивистами традиция философии науки, получившая название постпозитивистской, основана на отрицании и критике исходных принципов неопозитивизма, подчеркивая прежде всего:

- узкий эмпиризм в понимании научного знания, т. е. иллюзию, что существуют некие абсолютно достоверные, не отягощенные никакой теоретической интерпретацией, самоочевидные истинные утверждения наблюдения (протокольные высказывания), на основе которых с помощью логической дедукции может быть обосновано все здание науки;

- антиисторизм — ложное убеждение в том, что путем выявления структурно-логических взаимоотношений между элементами гипотетико-дедуктивной теории можно не только сконструировать идеальную модель современного научного знания, но и объяснить его историю как чисто кумулятивный процесс создания все более общих теорий.

По мнению неопозитивистов, для разработки логико-методологической структуры не требовалось обращения к историко-научному материалу, однако это совсем не означает, что они не использовали или не хотели знать историю науки, — просто они рассматривали ее не как объект специального логико-методологического исследования, а как иллюстрацию уже полученных результатов анализа актуального состояния наиболее развитой науки — математики и физики. Теории же, не достигшие аксиоматического идеала, считались неполноценными, своего рода преднаукой, что логически приводило к кумулятивной концепции развития науки как простого накопления научного знания при неизменности ее жесткой аксиоматической структуры.

Необходимо также иметь в виду, что неопозитивистская модель науки (точнее, научной теории) эволюционировала и корректировалась. Наиболее ясно ее окончательная версия была сформулирована в книге «Структура научных теорий»<sup>7</sup>, подготовленной по материалам симпозиума 1969 г. с одноименным названием. Основные положения этой версии таковы:

(1) существует язык первого порядка **L**, в понятиях которого и формулируется теория, и логическое исчисление **K**, определенное в этом языке;

<sup>6</sup>См.: Carnap R. The Methodological Character of Theoretical Concepts. In: Minnesota Studies of the Philosophy of Science. Vol. 1. Minneapolis, 1956.

<sup>7</sup>The Structure of Scientific Theories. Urbana, Chicago, London: University of Illinois Press, 1974, p. 50–51.

(2) нелогические или дескриптивные константы («термы») разделяются на два непересекающихся класса — словарь термов наблюдения и словарь ненаблюдаемых или теоретических термов;

(3) язык **L** (и, соответственно, исчисление **K**) подразделяется соответственно на:

- (а) язык наблюдения,
- (б) логически расширенный язык наблюдения,
- (с) теоретический язык.

Но эти подязыки еще не исчерпывают полностью **L**, поскольку в него входят и смешанные предложения, содержащие термы из различных словарей;

(4) язык наблюдения и связанные с ним исчисления обусловлены семантической интерпретацией, причем область интерпретации состоит из конкретных наблюдаемых событий, вещей или моментов, а интерпретационные отношения и свойства должны быть непосредственно наблюдаемы; при этом допускается возможность частичной семантической интерпретации;

(5) частичная интерпретация теоретических термов и содержащих их предложений языка **L** обеспечивается постулатами двух типов — теоретическими постулатами **T**, т. е. аксиомами теории, включающими только термы теоретического словаря, и правилами соответствия, т. е. постулатами **C**, содержащими смешанные предложения.

Для всех современных концепций философии науки характерно критическое отношение к «стандартной концепции», стремление построить в противовес ей историко-методологические модели науки на основе следующих общих принципов:

теоретическое понимание науки возможно лишь при условии построения динамической модели научного знания;

научное знание является целостным по своей природе, его нельзя разбить на независимые друг от друга уровни наблюдения и уровень теории, а любое утверждение наблюдения обусловлено соответствующей теорией, т. е. является теоретически нагруженным;

в науке важное место занимают не только языковые выражения, но и аналоговые и иконические модели, различного рода схемы и мысленные эксперименты;

для методологического анализа большой интерес представляют не только аксиоматизированные и формализованные теории, но и так называемые математизированные теории, а формализация не может рассматриваться как идеал зрелого научного знания;

в качестве единицы методологического анализа должны быть использованы не отдельная теория, а комплекс или последовательность теорий, научная дисциплина или иное макротеоретическое образование;

философские концепции тесно взаимосвязаны с собственно научным (конкретно-научным) знанием, и философия не только оказывает стимулирующее (позитивное или негативное) воздействие на науку, но философские утверждения органично входят в саму науку;

динамика научного знания не представляет собой строго кумулятивного процесса, а научные теории независимы друг от друга;

в качестве метода разработки историко-методологической модели науки используется совокупность различных методов анализа науки — историко-научного, методологического, науковедческого, психологи-

ческого, социологического, логического и т. д., причем логическому описанию научного знания отводится подчиненное место, а в некоторых случаях вообще отрицается его значение для понимания науки.

Несмотря на столь радикальную критику неопозитивизма со стороны современной философии науки, необходимо иметь в виду, что, во-первых, содержащиеся в ней историко-методологические модели возникли именно благодаря этой критике; во-вторых, эти модели не всегда могут быть рассмотрены как модели развития знания; в-третьих, увлекаясь анализом развития науки, часто упускают из вида ее структурный аспект. Этот последний пробел в значительной мере компенсирует так называемая структуралистская концепция науки, развитая прежде всего в работах Снида и Штегмюллера, о которых будет сказано в дальнейшем.

## 2. Модель функционирования науки

В качестве наиболее яркого примера *модели внешнего функционирования науки* как процесса смены фальсифицируемых теорий может быть рассмотрена логика научного открытия К. Поппера<sup>8</sup>, который формулирует в качестве одной из важных задач философии науки исследование роста научного знания. Однако прежде всего кратко рассмотрим эволюцию взглядов Поппера и их отличие от «стандартной концепции».

Стремясь разграничить науку и метафизику (философию), Поппер вводит вместо критерия верификации критерий *фальсификации*, согласно которому теоретические утверждения должны не подтверждаться, а опровергаться опытом. Позднее он ослабляет этот критерий, вводя понятие *фальсифицируемости*, т. е. потенциальной возможности опровержения — в этом случае эмпирические научные теории отличаются от метафизических (или неэмпирических) тем, что могут фальсифицироваться. Но это еще не значит, что эмпирические научные теории осмысленны, а метафизические не имеют никакого смысла.

---

<sup>8</sup> Карл Поппер (1902–1994) учился в Венском университете, в 1928 г. защитил диссертацию и до 1937 г. работал педагогом (в клинике для беспризорных детей, в Венском педагогическом институте, в школе). Принимал участие в дискуссиях Венского кружка до 1937 г., хотя и не считал себя принадлежащим к нему, затем иммигрировал в Новую Зеландию, где работал в университете г. Крайсчерна. С 1945 г. жил в Великобритании, с 1946 г. — профессор кафедры философии, логики и научного метода Лондонской школы экономики. Широкую известность Поппер получил после публикации книг «Нищета историзма» (1944 г.) и «Открытое общество и его враги» (1945 г.), в которых он критиковал тоталитаризм и марксизм. В 1964 г. Попперу было пожаловано дворянство, и он становится сэром Поппером.

Изданная им впервые в 1934 г. на немецком языке книга «Логика научного открытия» была переиздана с дополнениями в 1959 г. на английском языке. Именно в этой книге наиболее последовательно изложена его логико-методологическая концепция науки. В 1963 г. выходит его вторая логико-методологическая книга «Предположения и опровержения», а в 1972 г. — третья книга из этой серии — «Объективное знание», развивающая идеи, содержащиеся в его первой книге.

В то же время подлинная истинность теории заключается в возможности ее опровержения. Именно критицизм отличает теорию от мифа, а метод рациональной дискуссии, т. е. ясной (насколько это возможно) постановки проблемы и критической проверки предлагаемых решений, должен быть методом не только естественной науки, но и философии. Его составной частью является исторический метод, т. е. поиски высказываний или рассуждений других людей о данной проблеме. Неопровержимость — это не достоинство, а порок теории. Отмечая, что позитивисты сами обсуждают типично философские проблемы, Поппер допускает существование научной философии, которая является методологией. Следуя традиционной неопозитивистской установке на элиминацию психологизма из науки, он подчеркивает, что не наши иррациональные ощущения, а рациональные языковые выражения этих ощущений должны составлять фундамент науки. Всякое научное открытие содержит, конечно, иррациональный элемент, но исследование этого элемента относится к области психологии и выходит за пределы логики научного открытия. Методология научного познания не должна, по его мнению, интересоваться мыслительными процессами — главный ее объект составляют теории как результат данных процессов и их логическое соотношение. Наука — лишь гипотетико-дедуктивная система предложений, имеющая характер объективности или интерсубъективной проверяемости.

Фальсифицируема в строгом смысле лишь теоретическая система в целом — отдельные предложения не подлежат фальсификации. Метод критицизма, т. е. испытательных фальсификаций, систематические попытки опровержения выдвинутых идей, гипотез и теорий и устранение ошибок являются, по Попперу, сущностью научной деятельности, ее отличительной чертой.

Теория рассматривается Поппером как своеобразная научная машина, сконструированная гениальным индивидом, который решает, что составляет ее «мир», какого рода законы желательны раскрыть в этом «мире», и оснащает ее «врожденными» принципами выбора объектов наблюдения (рис. 11). Научные теории, с его точки зрения, являются не результатом наблюдения, а изобретениями, предполагаются с помощью метода рационального обсуждения, сущность которого — четкая формулировка проблемы и критический анализ различных предложенных решений<sup>9</sup>.

Внешнее функционирование теории состоит в том, что именно при столкновении как минимум двух теорий совершенствуется и возрастает научное знание. Поскольку наблюдение, по Попперу, есть всегда наблюдение в свете теорий, опровергаемая теория противостоит не чистому наблюдению, а другой теории или опровергающей гипотезе. Функционирование науки характеризуется им как смена одних (опровергнутых) теорий другими теориями, более смело проти-

<sup>9</sup>См.: *Popper K. The Logic of Scientific Discovery. L.: Hutchinson & Co. Ltd., 1961.*

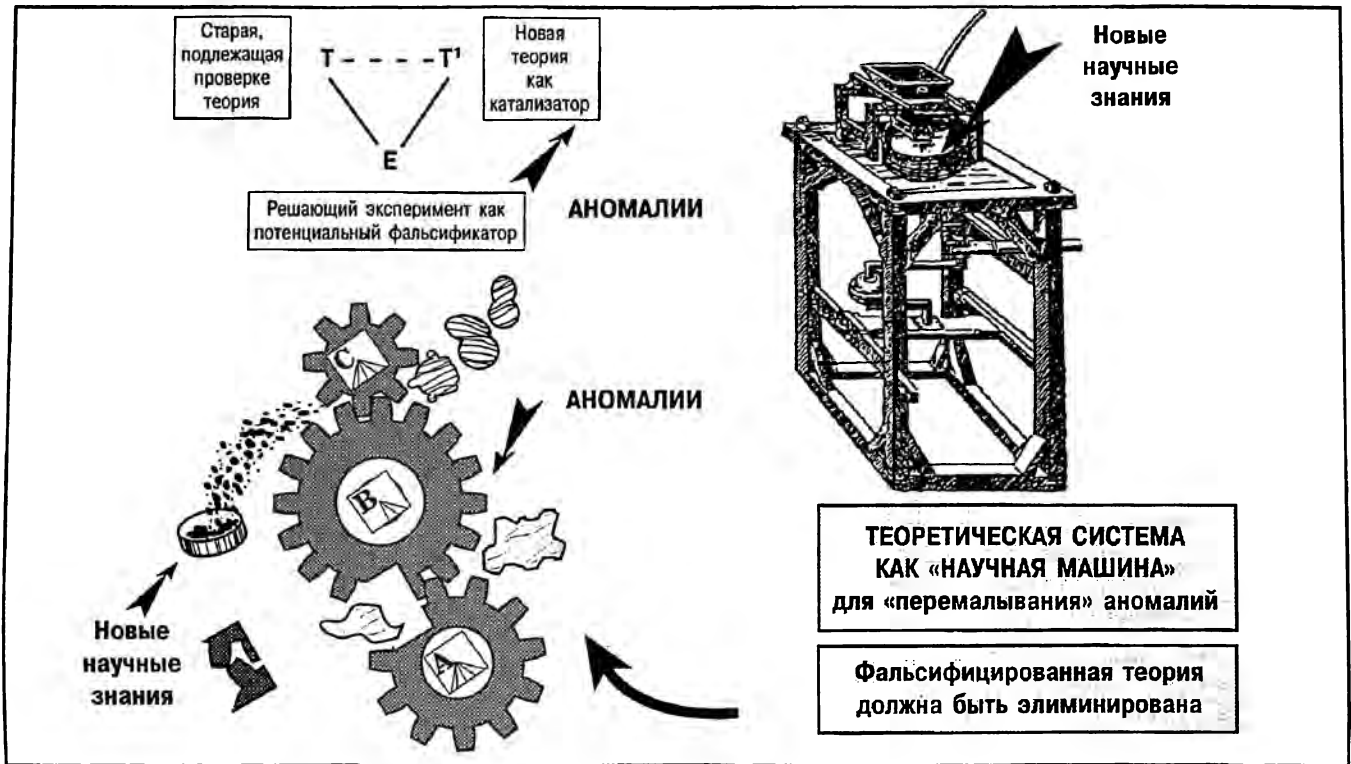


Рис. 11. Внешнее функционирование теоретической системы по К. Попперу как фальсификационный процесс постоянной проверки в контролируемом эксперименте (теория – «научная машина», сконструированная гениальным изобретателем)



востоящими фальсификациям, являющимися более жизненными теоретическими конструкциями. В этом смысле для Поппера внутреннее совершенствование теорий теряет смысл, поскольку опровергнутая, не выдержавшая фальсификаций теория должна быть попросту отвергнута, а на смену ей должна прийти другая, более совершенная теория. Функционирование науки и заключается в том, чтобы критиковать и опровергать теории в надежде найти ошибку, чему-то научиться на этой ошибке и развить новую, лучшую теорию. История науки — это логика научных открытий, которые представляют собой цепь сменяющих друг друга теорий. Теория начинается с проблемы, далее следуют подробное решение, догадка, а затем критика и исправление ошибок. Эмпирически опровергнутая теория должна быть элиминирована и не должна возвращаться на более поздних стадиях научного развития. Если старая теория ошибочна, то чтобы сделать открытие, необходима новая теория: борьба за уточнение эмпирического базиса происходит между этим базисом и теорией, подлежащей проверке. Соперничающая теория выполняет лишь функцию катализатора. Это двусторонняя борьба между теорией и экспериментом и, в конечном счете, именно они противостоят друг другу, а единственный важный результат такого рода конфронтации заключается в действительной фальсификации, т. е. единственное действительное открытие — опровержение данной научной гипотезы. Теоретик предлагает новую теорию, но отдельные базисные утверждения противоречат ей; если одно из них будет акцептировано, то теория, которая теперь считается опровергнутой, должна быть отброшена и заменена новой теорией. Решающим в судьбе теории является, однако, результат проверки. Историк, следующий идеям Поппера, выискивает крупные, смелые, фальсифицируемые теории и значительные негативные, решающие эксперименты. Внутренняя структура и функционирование этих теорий представляются не столь важными.

*Модель внутритеоретического функционирования науки*, цель которого — совершенствование логического механизма теорий, представлена в концепции *научно-исследовательских программ* И. Лакатоса<sup>10</sup>. Критикуя неопозитивистскую программу за построение формализованных языков, искусственно замораживающих науку, Лакатос провозглашает необходимость обращения к реальному процессу научного

---

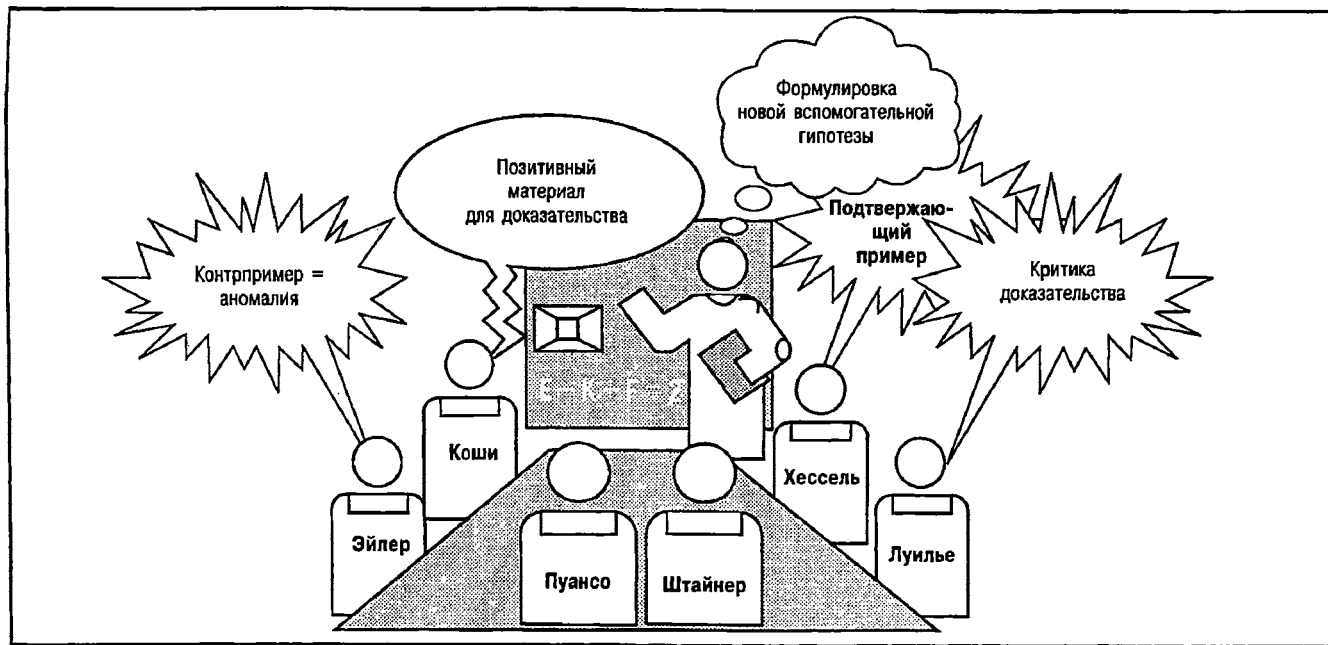
<sup>10</sup> Имре Лакатос (Лакатош) (1922–1974) до 1944 г. изучал математику, физику, философию в Венгрии. Во время второй мировой войны был участником антифашистского сопротивления. С 1945 г. становится аспирантом Будапештского университета. В 1947 г. работает в министерстве образования и участвует в проведении реформы высшей школы. В 1949 г. проходит стажировку в Московском университете. В 1950 г. был арестован по политическим мотивам, а в 1953 г. после освобождения возвращается в Венгрию, где работает переводчиком в Математическом институте Венгерской Академии наук. После побега в Вену и переезда в Англию преподает в Кембридже. В 1958 г. защищает диссертацию по рационализму у Декарта и Эйлера. В 1969 г. становится профессором на кафедре у К. Поппера в Лондонской школе экономики. Широкую известность получила его докторская диссертация «Очерки по логике математического открытия» («Доказательства и опровержения»).

мышления, изучению истории науки для выявления законо-мерностей в движении научного знания (логики доказательств и опровержений). По его мнению, неопозитивисты, исключая из сферы исследования предысторию формализованной дисциплины, сводят методологию математики к метаматематике, а философию — к логике науки. Однако без руководства философии история математики слепа, а философия математики сделалась пустой: В то же время, считает он, методология вообще не занимается мнением и убеждением, имеющими лишь психологическое значение. Поскольку никакая совокупность человеческих суждений не является рациональной, рациональная реконструкция никогда не может совпасть с реальной историей науки, которая представляет собой историю событий, выбранных и интерпретированных некоторым нормативным образом. В этом и заключается, по Лакатосу, метод рациональной реконструкции.

Лакатос различает целые и растущие теории. По мере роста знания теоретический язык постепенно вытесняет обыденный, наивный. Совершенствование логического механизма теорий в процессе их функционирования происходит при столкновении с противоречащими контрпримерами и аномалиями, превращении этих контрпримеров в подтверждающие примеры, т. е. новые факты, выявлении скрытых посылок и лемм и т. д. Функционирование теории, по Лакатосу, — это результат деятельности отдельных индивидов, но не одного гениального индивида, как считал Поппер, а нескольких: одни высказывают догадку, другие выдвигают контрпример, третьи устраняют аномалии и т. д. (рис. 12).

Фундаментальной единицей методологического анализа, с точки зрения Лакатоса, должна быть не изолированная теория, а исследовательская программа, представляющая собой серию взаимосвязанных теорий. Именно в пределах исследовательской программы одна теория должна быть заменена лучшей теорией, имеющей большее эмпирическое содержание, чем предшествующая.

В прогрессивной исследовательской программе теория создается для открытия до сих пор неизвестных фактов, а в дегенеративной — напротив, для того, чтобы разобраться с уже известными фактами. По мнению Лакатоса, тривиальная верификация не является знаком эмпирического прогресса. В то же время и попперовское опровержение теории опытом не может служить признаком осечки, поскольку любая программа развивается при наличии множества аномалий. Обычно дегенеративная программа в конечном счете заменяется прогрессивной программой. Однако как научная или ненаучная должна оцениваться не отдельная изолированная теория, а последовательность теорий. Лакатос называет такую последовательность теоретически прогрессивной, т. е. приводящей к теоретически прогрессивному сдвигу проблем, если каждая новая теория имеет большее эмпирическое содержание, предсказывая новые, неожиданные факты. Она будет также и эмпирически прогрессивной, т. е. ведущей к эмпирически прогрессивному сдвигу проблем, если сохраняет этот излишек эмпирического содержания и действительно приводит к открытию новых фактов.



**Рис. 12. Модель внутреннего функционирования науки И. Лакатоса – рациональная реконструкция научной деятельности: метод «доказательства и опровержений».** Предмет анализа развитой науки – научно-исследовательская программа Диалог происходит в воображаемой классной комнате, где обсуждается ПРОБЛЕМА: существует ли связь между числом углов  $E$ , числом ребер  $K$  и числом поверхностей  $F$  правильного многогранника. После многочисленных проб и ошибок ученики и учитель заметили, что для правильного многогранника  $E - K + F = 2$ . Одни предположили, что это справедливо для всех многогранников, другие пытались разными способами доказать, что это предположение неверно. Результаты подтвердили это предположение и дали ясно понять, что доказательство возможно. Учитель на рисунке как раз представляет доказательство.

Поскольку Лакатос рассматривает функционирование научного знания внутри исследовательской программы, предлагаемую им модель можно назвать моделью *внутреннего* функционирования науки (в отличие от модели Поппера, демонстрирующей *внешнее* столкновение различных, не связанных одной программой теорий).

Лакатос различает внутреннюю историю (рациональную реконструкцию) и внешнюю (социально-психологическую) историю науки. История науки всегда богаче ее рациональной реконструкции, но рациональная реконструкция, или внутренняя история, первична, а внешняя — вторична, поскольку важнейшие проблемы внешней истории науки определяются ее внутренней историей.

Исследовательская программа состоит из методологических правил, одни из которых указывают, каких путей следует избегать (отрицательная эвристика), а другие — какими путями следовать (положительная эвристика). Программа включает также неопровержимое — согласно решению, заранее принятому членами определенного научного сообщества, поддерживающими данную программу, — *жесткое ядро*. Основным же проверкам должен быть подвергнут *защитный пояс* вспомогательных гипотез (рис. 13).

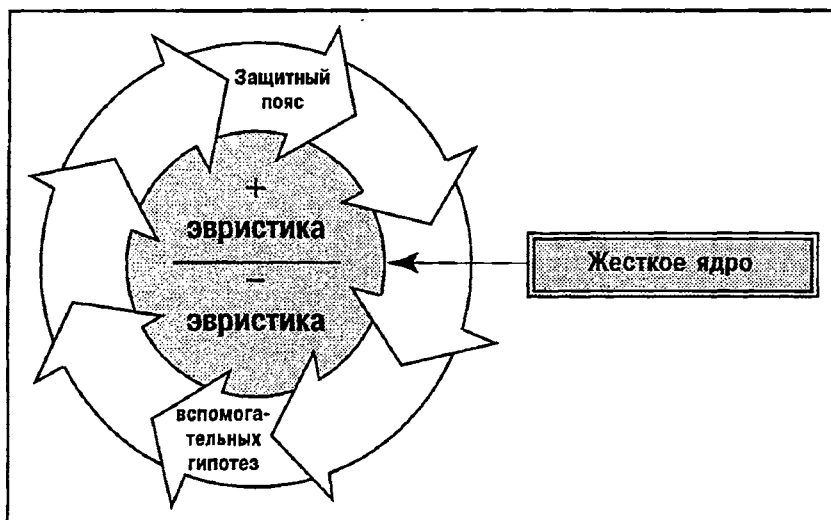


Рис. 13. Методология научно-исследовательских программ И. Лакатоса

Внутри исследовательской программы одна теория заменяется лишь лучшей теорией, имеющей большее содержание, чем ее предшественница, и это содержание частично подтверждается. А для замены одной теории лучшей не требуется ничего иного, как фальсификации первой из них согласно учению Поппера. Однако не может быть никакой фальсификации до появления лучшей теории. Фальсификация является не простым отношением между одной теорией и эмпиричес-

ким базисом, а многосторонним отношением между конкурирующими теориями, исходным эмпирическим базисом и эмпирическим ростом, ведущим к этой конкурентной борьбе. Можно сказать, что фальсификация носит исторический характер.

Аномалии, или контрпримеры, должны вызывать изменения лишь в защитном поясе вспомогательных гипотез, которым надежно защищено жесткое ядро программы. Аномалии часто регистрируются, но на них не акцентируют внимание в надежде, что через некоторое время они превратятся из опровержения в доказательство этой программы. Этой цели служит эвристика исследовательской программы, т. е. мощный аппарат для разрешения проблем, который с помощью высокоразвитого математического метода способен проанализировать аномалии и по возможности превратить их в доказательный материал.

Аномалия — наивное опровержение, загадка, проблема — может быть разрешена тремя способами:

- разрешение внутри первоначальной программы (аномалия превращается в подтверждающий пример),
- нейтрализация, т. е. решение внутри независимой программы, отличной от первоначальной (аномалия исчезает),
- решение непреодолимой для данной программы аномалии внутри соперничающей программы (аномалия превращается в контрпример — опровергающий пример).

В этом случае возможна замена старой исследовательской программы на новую, т. е. научная революция.

Исследовательская программа успешна, если она способствует прогрессивному сдвигу проблем, и неуспешна, если приводит к их вырожденному сдвигу. Когда программа перестает предсказывать неизвестные факты, то от жесткого ядра следует отказаться. История науки, по Лакатосу, является историей борющихся научно-исследовательских программ. Однако их соотношение Лакатос фактически не рассматривает<sup>11</sup>.

### 3. Модели генезиса (формирования) науки

*Внешний генезис науки* анализируется в методологической концепции П. Фейерабенда<sup>12</sup>, который выделяет четыре основные позиции в теории рациональности:

1) наивный рационализм, к которому он причисляет, например, Канта, Карнапа, Поппера и Лакатоса;

<sup>11</sup>См.: *Lakatos I. The Methodology of the Scientific Research Programmes.* Cambridge University Press, 1978.

<sup>12</sup>Пол (Пауль) Фейерабэнд (1924–1994) родился в Вене. В Венском университете изучал историю, математику и астрономию, в Веймаре — драматургию, в Лондоне и Колонгагене — философию. С 1951 г. читал лекции в ряде университетов Англии, а с 1958 г. — в США. С 1967 г. — профессор философии в Калифорнийском университете (США).

2) контекстуально зависимый рационализм, к которому он относит всех мыслителей, при каждом удобном случае привлекающих «исторический контекст» в процессе рассмотрения какого-либо вопроса, предложения, решения (например, марксисты);

3) наивный анархизм, отрицающий всякие правила и масштабы, к которому он причисляет всякие экзотические религии и политический анархизм;

4) *методологический анархизм*, который он обозначает в качестве собственной позиции.

Наивные анархисты, подчеркивает Фейерабенд, утверждают, что:

а) все правила и масштабы имеют свои границы;

б) необходимо поэтому обходиться вообще без них.

Сам он принимает первое утверждение, но отвергает второе. В своих исследованиях Фейерабенд пытается указать не только методы, от которых следует отказаться, но и методы, которые нужно использовать. Контекст, конечно, должен быть принят во внимание, однако это не значит, что связанные с контекстом правила должны заменить абсолютные правила, — они должны лишь дополнить их. Фейерабенд не намеревается устранять всякие правила и масштабы или доказывать, что они не имеют никакой ценности. Напротив, он ведет речь об обогащении их инструментария (чем их будет больше, тем лучше) и, кроме того, о новом применении всех правил и масштабов.

Анализируя проблему соотношения теории и опыта, Фейерабенд резко критикует позитивизм. Позитивистский язык наблюдения, отмечает он, основывается на метафизической онтологии, причем, с точки зрения позитивистов, существует лишь одна единственная онтология. Называя позитивистскую теорию интерпретации наивной, Фейерабенд подчеркивает, что сам язык наблюдения определяется теорией, которая разъясняет, что мы наблюдаем, и меняется вместе с изменением теории. Он отвергает существование автономного, независимого от теории эмпирического языка: каждая теория создает собственный язык для описания наблюдаемых ситуаций. Понятия языка наблюдения не всегда бывают более понятны, чем теоретические понятия, и поэтому не могут служить средством разъяснения последних. При отсутствии теории показания измерительных инструментов не имеют никакого значения: сначала теория рассказывает о взаимосвязях, имеющих в мире, и учит, что существует надежная взаимосвязанность между показанием инструмента и ситуацией, сложившейся между этими взаимосвязями. Если одна теория заменяется другой теорией с иной онтологией, то все имеющиеся измерения необходимо интерпретировать заново. Кроме того, интерпретация любой физической теории содержит метафизические элементы, так же как любой язык наблюдения — теоретические элементы. В принципе вообще не существует теории, которая ни в чем не противоречила бы всем фактам. Возражая позитивистам, Фейерабенд отмечает:

• наука редко основывается на полностью готовой физической теории (в особенности в периоды научных революций);

даже полностью готовые теории никогда не бывают до конца формализованными и используют в большей или меньшей степени интуитивные приемы;

- не существует единого языка наблюдения, применяемого для разъяснения или проверки какой-либо теории. Наука без ощущения, наблюдения, по его мнению, не только возможна, но и реализуема. Поэтому двухслойная модель структуры науки, постулирующая резкое противопоставление языка теории и языка наблюдения, и научная практика не имеют ничего общего.

Критикуя принципы дедуцируемости (выводимости или хотя бы совместимости теорий) и инвариантности значения научных терминов, входящих в разные теории, а также отрицая кумулятивность в развитии науки, Фейерабенд утверждает, что старая и новая теории не только несовместимы (старая не может быть включена в новую), но и *несоизмеримы*. Существуют теории, о которых можно сказать, что в них идет речь об одних и тех же вещах, но которые не имеют ни одного общего предложения. Это происходит не потому, что теории описывают различные области, т. е. независимы друг от друга, а потому, что они несоизмеримы, т. е. их содержание несравнимо. С этим связан также принимаемый позитивистами постулат об инвариантности значения научных терминов, несовместимый с научной практикой, поскольку при переходе от одной теории к другой значение основных понятий меняется. Фейерабенд приводит пример с понятием массы, которое в классической физике имело то значение, что масса какой-либо системы не связана (или случайно связана) с ее движением в выбранной системе координат. В теории относительности, напротив, масса стала относительным понятием: указание массы является неполным без указания системы координат, с которой связаны все пространственно-временные описания. Точные классические понятия невозможно определить релятивистски или объединить оба понятия с помощью эмпирического обобщения, поскольку мы имеем дело в данном случае с двумя несоизмеримыми понятиями.

Наука, с точки зрения Фейерабенда, — это серия не взаимосогласующихся теорий (в этом пункте он полемизирует с Лакатосом), а взаимно несовместимых (возможно, даже несоизмеримых) альтернатив. Поэтому единицей методологического анализа должна быть не отдельная теория, а совокупность альтернативных теорий. Альтернативы, по его мнению, существуют в науке всегда, а не только в период научных революций, и их борьба является движущей силой прогресса. Ученый должен стараться улучшать, а не отвергать идеи, которые, на первый взгляд, проигрывают в состязании идей. По Фейерабенду, периодов «нормальной науки» вообще не существует. Разнообразие мнений является неотъемлемым свойством науки (и философии). Умножение теорий выгодно для науки, поскольку единообразие лишает ее критической силы, приводя к застою. В этом случае возникает вера в уникальность принятой теории, попытки отступничества караются, а факты, потенциально опровергающие теорию, устраняются.

Он формулирует этот тезис в виде *принципа плюрализма*: открываются и развиваются теории, противоречащие существующему представлению, даже если оно основательно подтверждено и общепризнано. Такие теории и являются, по мнению Фейерабенда, альтернативными данному представлению. Принцип плюрализма означает не только открытие новых альтернатив, но и сохранение в науке старых теорий, поскольку опровергнутая теория также вносит вклад в позитивное содержание теории, получившей признание. Именно такого рода конкуренция создает возможность развития наших духовных способностей, так как способствует усилению позиции каждой теории в этой борьбе.

Альтернативные идеи, пишет он, должны черпаться буквально отовсюду: из других теорий, мифов и современных предрассудков, ухищрений специалистов и маниакальных фантазий. Это значит, что язык новой теории не вырабатывается в процессе определений двухслойной (неопозитивистской) модели, а является результатом новой картины мира, создаваемой в обществе совместно философами, экспериментаторами, теоретиками, драматургами и др. Здесь вполне уместен лозунг «все пригодится»: направления исследований, противоречащие фундаментальным принципам мышления определенной эпохи и даже иррациональные, могут стимулировать появление у исследователя новой, вполне разумной идеи.

Альтернативные идеи могут быть также заимствованы и из прошлого: не существует идеи, сколь бы древней и абсурдной она ни казалась, которая не могла бы способствовать совершенствованию наших сегодняшних знаний. Вся история мысли, по Фейерабенду, запечатлена в науке и используется для улучшения отдельной теории, вся история знания должна использоваться для того, чтобы улучшить ее новейшую и самую прогрессивную стадию. Наука, стремящаяся отыскать истину, должна сберечь все идеи человечества для возможного их использования. Иначе говоря, история идей — существенная составная часть научного метода. Прогресс, по мнению Фейерабенда, часто достигается «критикой из прошлого» (он приводит пример переоценки роли современной «научной» и древней китайской медицины в нашем обществе). История науки, таким образом, становится неотъемлемой частью самой науки.

Этот тезис поддерживают и принципы пролиферации (размножения) и постоянства (упорства): в науке должно быть позволено, с одной стороны, генерировать новые идеи, а с другой — не отказываться от тех или иных идей, несмотря на возникающие трудности. *Пролиферация* означает, что не нужно отбрасывать даже самые странные результаты умственной деятельности и каждый должен следовать своему собственному мнению, поскольку науке приносит пользу такого рода деятельность. *Принцип постоянства* поощряет не только следование собственным новациям, но и развитие их, стремление, используя критику (сравнимая новации с имеющимися альтернативами), повысить уровень артикуляции, чтобы защита новаций осуществлялась на более высокой ступени осознания. Взаимодействие пролиферации



и постоянства означает также продолжение биологической эволюции видов на более высокой ступени, при этом возможно даже требование необходимых мутаций. По мнению Фейерабенда, это, может быть, единственный способ удержать человечество от стагнации (застоя).

Анализируя роль психологических и иррациональных факторов в генезисе науки, он полемизирует с Поппером и Лакатосом. Ссылаясь на одного из литературоведов, утверждающего, что старая и новая литература в отличие от строгой науки является открытой системой, где все ее прошлое «толпится» в настоящем, Фейерабэнд утверждает, что противоположность между наукой и литературой (и даже мифом) не столь велика, как иногда кажется.

Не существует ни одной научной идеи, утверждает он, которая не была бы откуда-нибудь «украдена» в прошлом. Одним из таких примеров может быть научная революция, произведенная Коперником, который свои идеи унаследовал, как он и сам утверждал, от старых авторитетов, прежде всего пифагорейца Филолая. В то время как астрономы учились у пифагорейцев, пионеры медицины многое заимствовали в своем ремесле от акушеров, колдуний, странствующих аптекарей и т. д. Везде в науке имеются следы ненаучных идей и методов, их молчаливого освоения и присвоения, что, по мнению Фейерабенда, можно считать даже ее сущностью. Не следует забывать, подчеркивает он, что магия играет важную роль в становлении науки<sup>13</sup>.

Таким образом, Фейерабэнд фактически апеллирует к предистории научных дисциплин и их внешним связям с культурой в целом. Именно поэтому он акцентирует внимание на том, что интересы ученого, насилие, пропаганда, «промывание мозгов» играют в прогрессе научного знания гораздо большую роль, чем принято считать. Отрицание жестких правил и норм, оценок и критериев в науке, составляющее суть методологического анархизма Фейерабенда, характерно именно для периода становления любой научной дисциплины. Определенный консерватизм развитой теории, критикуемый Фейерабэндом, неизбежен и даже необходим для прогресса науки не менее, чем критика ее оснований в период становления научной дисциплины или научной революции.

Таким образом, при анализе генезиса новых теорий Фейерабэнд подчеркивает роль главным образом внешних (хотя и весьма важных), а не внутренних механизмов формирования научного знания (рис. 14).

*Внутренний генезис науки* исследован в работах Александра Койре<sup>14</sup>. То, что, с точки зрения непозитивистов, представляет сферу иррационального, для Койре является элементом имманентного раз-

<sup>13</sup> См. *Feyerabend P. Der wissenschaftstheoretische Realismus und die Autorität der Wissenschaft. Bd. 1; Probleme des Empirismus. Bd. 2. Ausgewählte Schriften. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1978.*

<sup>14</sup> Александр Койре (1882–1964) родился в Таганроге. Учился в Тифлисе и Ростове-на-Дону классическим и современным языкам. С 1908 г. учился три года в Геттингенском университете, затем в Париже. В 1914–1917 гг. сражался добровольцем во Французской армии и остался жить во Франции. В 1922–1923 гг. опубликовал первые две работы по истории религиозной философии и защитил

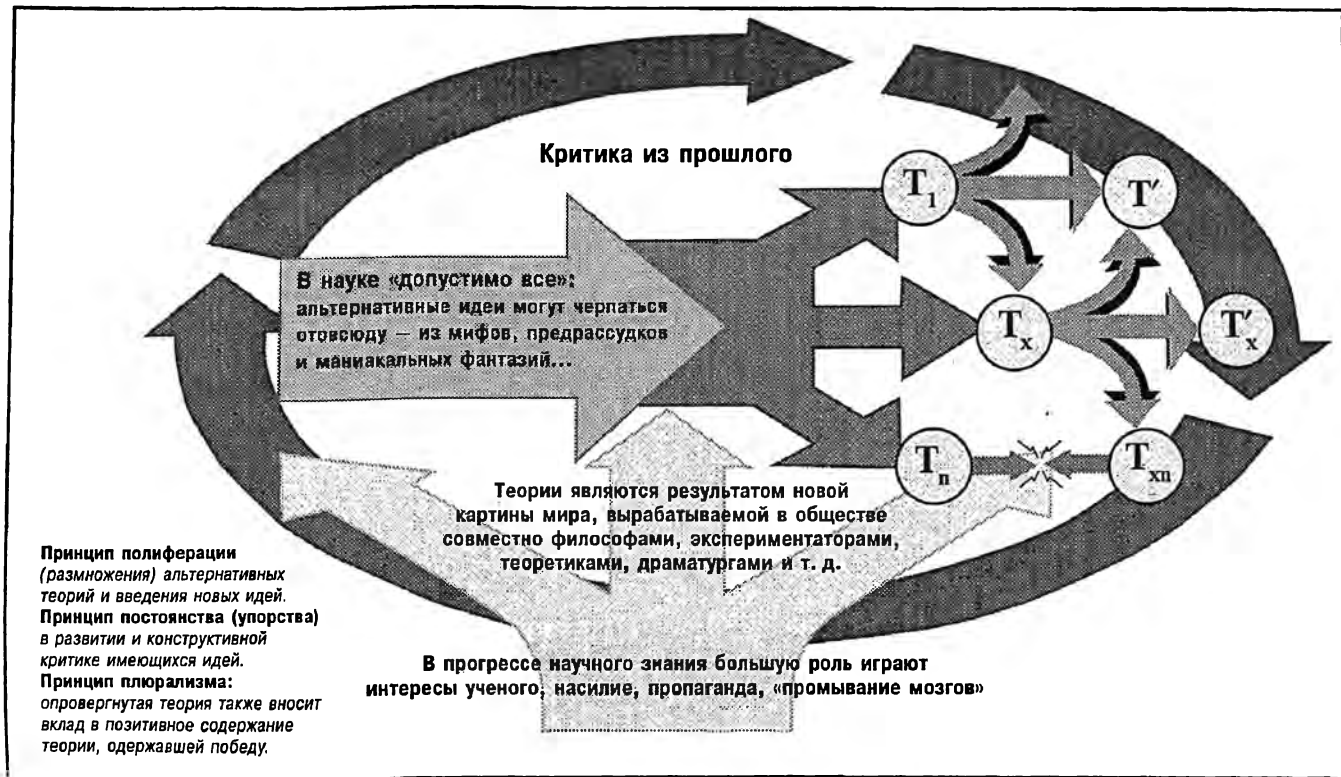


Рис. 14. Модель внешнего генезиса науки в концепции «методологического анархизма» П. Фейерабенда  
 НАУКА — это океан взаимно несовместимых альтернатив

вития научной мысли и, следовательно, предметом рационального объяснения. Для него особенно важно проанализировать воплощение влияния экстранаучных факторов — общего духовного климата эпохи, философии, религии и т. д. — в процессе генезиса науки в ее внутренней понятийной структуре. С этой целью он проводит *историко-критический анализ генезиса концептуальных структур науки*. Рассмотрим суть этого метода<sup>15</sup>.

Главным предметом исследования Койре являются работы ученых, сыгравших решающую роль в становлении экспериментального математизированного естествознания, — Декарта, Галилея, Коперника, Кеплера, Ньютона и др. Однако и философская рефлексия, с одной стороны, и инструментально-экспериментальная база (техника науки), с другой стороны, отражаются в понятийных структурах научных теорий, а не только влияют на их развитие извне. Поэтому, анализируя концептуальные схемы экспериментального естествознания, Койре постоянно обращается к предистории, сравнивая концептуальные схемы, например, физики Аристотеля, средневековой и галилеевой физики, апеллирует к Платону и Архимеду в поиске их влияний на научные теории Нового времени. Создание точной экспериментальной техники также включается им в общую структуру естествознания в качестве нового научного метода преобразования, соответствия природных ситуаций теоретически спроектированным условиям с помощью технически организованного эксперимента. Такой подход к исследованию природных явлений в искусственных условиях, в свою очередь, стал возможным благодаря выработке философами и учеными новой научной картины мира и новых идеалов и норм научного исследования.

Основное внимание Койре уделяет научной революции XVII в. Он намеревался проследить основные направления научно-философской мысли вплоть до современности, но не успел сделать это. «Главным его свершением явилось исследование идейных предпосылок и хода научной революции XVI—XVII вв. до Ньютона включительно»<sup>16</sup>. Кроме того, сама его концепция науки была ориентирована на анализ

---

первую диссертацию. Вторая диссертация (1929 г.) была посвящена немецкому философу Якобу Бёме. С 1924 г. Койре читает лекции в Практической школе высших исследований в качестве доцента и становится в 1930 г. «директором исследований». В 1934–1940 гг. несколько раз приглашался гостевым профессором в Каирский университет. После второй мировой войны — директор французского Центра исследований по истории науки и техники, в 1956 г. — профессор Принстонского университета (США), с 1956 г. — секретарь Международной Академии истории науки, членом-корреспондентом которой он был с 1950 г., а действительным членом — с 1955 г.

<sup>15</sup> См., например: *Койре А. Очерки истории философской мысли. О влиянии философских концепций на развитие научных теорий*. М.: Прогресс, 1985; *Koyre A. Descartes und die Scholastik*. Darmstadt: wissenschaftliche Buchgesellschaft, 1971; *Koyre A. Galilei. Die Anfänge der neuzeitlichen Wissenschaft*. Berlin: Verlag Klaus Wagenbach, 1988; *Koyre A. From the Closed World to the Infinite Universe*. Baltimore: John Hopkins Press, 1957; *Koyre A. Newtonian Studies*. Chicago: The University of Chicago Press, 1968.

<sup>16</sup> *Койре А. Очерки истории философской мысли. О влиянии философских концепций на развитие научных теорий*. М.: Прогресс, 1985, с. 10.

внутреннего генезиса научного знания, что особенно хорошо видно на примере классически проведенного им историко-критического исследования концептуальных схем ньютоновской физики.

В своих работах, написанных в разное время, Койре анализирует источники возникновения основных понятий и представлений, развитых Ньютоном в его физической теории, которая на долгие годы стала образцом построения не только физической науки, но и любой научной теории. Внимание Койре привлекает в основном не эволюция и совершенствование ньютоновских концептуальных схем и представлений, а то, как формировалась научная картина мира Ньютона, что он понимал под основополагающими физическими понятиями (понятиями гравитации, действия на расстоянии, пустого пространства и т. д.), что и кто повлияли на такое их понимание и т. д. Поэтому он постоянно сравнивает Ньютона с Декартом, Галилеем, Беркли, Лейбницем или Платоном, выявляет религиозные корни его воззрений.

Метод историко-критического анализа генезиса концептуальных структур науки Койре основывается прежде всего на анализе исходных историко-научных текстов с целью обнаружения точного смысла, который вкладывал в понятия тот или иной ученый. Для этого Койре обращается к сравнительному анализу различных изданий, например «Начал» Ньютона, корректности их переводов, эволюции взглядов ученого в процессе отработки этих текстов, ранним, неопубликованным и неканонизированным работам, интерпретации тех или иных понятий учениками ученого, их многозначности у самого ученого, понимания данного понятия в философской и научной традиции. Он резко противопоставляет свой метод довольно распространенному в науке методу простой подборки цитат (без достаточного обоснования), соответствующих тем или иным априорным положениям, выдвигаемым философами или историками науки относительно конкретных историко-научных фактов.

Многие исследователи, особенно неопозитивисты, сравнивают философские воззрения ученых со строительными лесами, которые впоследствии были и должны были быть отброшены. Однако, по мнению Койре, поскольку эти «леса» совершенно необходимы для построения научной теории, обеспечивая саму эту возможность, без их изучения невозможно понять генезис научных теорий вообще. Изучая в школе или университете ньютоновскую теорию тяготения, мы видим лишь ее логический каркас в свете современных научных представлений. Размышления и идейные битвы, характерные для времен ее формирования, зачастую исчезают из учебников, уступая место историко-научным мифам, ничего общего не имеющим с исторической реальностью.

Например, в истории науки ньютоновская и декартовская программы обычно рассматриваются как конкурирующие: первая — как воплощение новой прогрессивной науки, основанной на эксперименте и точном расчете, вторая — как символ преодоленной тенденции подчинить науку метафизике, пренебрегающей опытом. Сравнивая Ньютона и Декарта, Койре показывает, что вопреки такому представ-

лению «как в отношении концепции, так и в отношении содержащейся в «Математических началах натуральной философии» формулировки Ньютон испытал прямое влияние Декарта»<sup>17</sup>.

В то же время Койре подчеркивает, что ньютоновская научная картина мира в отличие от декартовской состоит не из двух — протяжение и движение, а из трех компонентов — материи, движения и пространства. Материя — это бесконечное число отдельных и изолированных друг от друга, твердых и неизменных (но не идентичных) частиц. Движение — это лишь транспортировка данных частиц в разных направлениях в бесконечной, гомогенной пустоте. Пространство — это бесконечная и гомогенная пустота, в которой и двигаются корпускулы. Койре подчеркивает, что в отличие от своих последователей Ньютон рассматривал тяготение не как «физическую», а как «математическую» силу, поскольку не только для материи, но и для самого Господа невозможно действовать на расстоянии.

В то же время для Ньютона в отличие, например, от Лапласа (который заявил Наполеону в ответ на его вопрос, какое место в его теории отводится Богу, что он не нуждается в этой *гипотезе*) Бог является весьма активным и постоянно наличествующим существом. Он присутствует всегда и везде, он не только снабдил мировую машину (универсум) динамической силой, но и запустил ее в соответствии с данными им самим миру законами. Таким образом, Койре реконструирует в качестве заднего плана экспериментальной математизированной науки Ньютона веру в Творца, что совершенно ускользает от внимания современного, воспитанного на идеалах ньютоновской классической науки ученого обывателя. Для Койре как историка и философа науки история поисков истины в исследовании природы даже важнее и увлекательнее, чем проникновение в саму природу вещей, чем представление этой природы в актуальных научных концепциях.

Ньютон был не философом, а специалистом-ученым (впрочем, такого разграничения философии и естествознания, какое имеется сегодня, в то время провести было невозможно. Физика все еще обозначалась тогда как «натурфилософия», замечает Койре). Поэтому для реконструкции философских оснований ньютоновской натурфилософии Койре обращается к его письмам и рассуждениям философов — современников Ньютона, оказавших на него определенное влияние. В одном из писем Ньютон утверждает, например, что такую совершенную систему мира со всеми происходящими в ней движениями мог создать только Творец, весьма искушенный в механике и геометрии. Его адресат, доктор теологии Ричард Бентли, был недостаточно искушен в физике, но, приняв во внимание утверждение Ньютона о том, что гравитация не является атрибутом материи, сделал вывод о неприродном характере гравитации, что доказывает существование божественного существа. Именно разумная действующая сила, а не какая-то естественная причина наделила планеты

---

<sup>17</sup> Койре А. Очерки истории философской мысли. О влиянии философских концепций на развитие научных теорий. М.: Прогресс, 1985, с. 219.

движением, придала им определенную скорость движения, пропорциональную их расстояниям до Солнца и заставляющую их вращаться по определенным концентрическим орбитам. Универсум понимается ортодоксальным Р. Бентли, будущим бишопом (первым епископом) Ворчестерским и ректором Тринити-колледжа, как безграничный заселенный мир, помещенный в бесконечное пространство и управляемый всемогущим и вездесущим Богом, который приводит его в движение. Такое представление о универсуме разделяет, без сомнения, и еретичный профессор математики Исаак Ньютон, член Королевского общества и того же самого Тринити-колледжа, — заключает свой анализ Койре<sup>18</sup>.

Бог Ньютона — это ни в коей мере не «философский» Бог, не безличная и незаинтересованная первопричина, в чем был убежден Аристотель, и не полностью индифферентный и отрешенный от мира Бог Декарта, а библейский Бог, эффективно действующий Господин и Мастер созданного им мира, Творец всех вещей, конституирующий протяженность и пространство. Мир, по Ньютону, есть Бог, и мы находимся в божественном времени и божественном пространстве, в котором содержатся все вещи и происходят все движения. При этом Ньютон объясняет, что он исследует лишь видимые феномены, а не скрытые свойства и магические причины. Для него Бог является необходимой достоверностью, благодаря которой должны быть объяснены все явления.

Лейбниц высказал мнение, что Бог Ньютона, как плохой часовщик, создавший несовершенную машину, должен время от времени чистить ее и корректировать движение ее частей. Ньютон, по свидетельству Койре, избегающий открытой дискуссии, поручил провести ее своему верному ученику Самуэлю Кларку, который пояснял, что согласно Ньютону, бесконечное мировое пространство — это *сенсорий* вездесущего Бога. Если, по мнению Лейбница, ньютоновское представление о заводящем и чинящем мировые часы Боге умалет его могущество и мудрость, то несколько не лучше представление Лейбница и Декарта о Боге, который заботится лишь о сохранении однажды созданного им совершенного механизма, функционирующего без его вмешательства и снабженного им раз и навсегда постоянным запасом энергии. Напротив, именно постоянное влияние Господа передает миру новую энергию, предотвращающую его превращение в хаос и остановку движения. Не соглашаясь с этим утверждением, Лейбниц утверждал, что если Господь вынужден постоянно корректировать естественное развитие мира, то он должен это делать с помощью или сверхъестественных, или естественных средств. Однако было бы абсурдным воспринимать природные процессы как чудо, т. е. как сверхъестественное. Если же Бог действует естественным образом, он растворяется в Природе.

---

<sup>18</sup> Koyre A. Absoluter Raum, Absolute Zeit und ihre Beziehungen zu Gott. Malebranche, Newton und Bentley. In: Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1980.

Для Ньютона и его учеников и коллег механические гипотезы строения мира отрицают существование Бога. Таким образом, кажущийся нам сегодня научно значимым спор о пустом пространстве, твердых атомах и абсолютном движении, относящийся к области физики, воспринимался Кларком (и самим Ньютоном) как борьба за истинное господство Бога в созданном им мире<sup>19</sup>. Для Койре это означает реконструкцию оснований и механизмов реального генезиса концептуальных структур ньютоновской физики и в конечном счете современной науки в целом. Для нас же это наглядное подтверждение того, что Койре анализировал именно *генезис* научной теории, а не ее эволюцию и развитие (рис. 15).

#### 4. Модели развития науки

Модели динамики науки, ориентируясь на исследование ее развития, фактически отображают лишь различные иные аспекты динамики научного знания, т. е. функционирование (внешнее и внутреннее) и генезис, но не само развитие. Рассмотрим теперь собственно *модели развития* — модель внешнего развития, или модель научных революций, и модель внутреннего развития, или эволюционную модель науки. В.И. Ленин, будучи крупнейшим практиком и теоретиком в области социальной революции, обсуждая эти два типа методологических моделей в работе «К вопросу о диалектике», подчеркивает, что рассмотрение лишь постепенной эволюции предмета исследования еще не дает полного представления о его развитии, — только анализ революционного способа развития объясняет скачки, перерыв постепенности, превращение в противоположность, уничтожение старого и возникновение нового. Революционный способ развития научной дисциплины связан с ее переходом в новое семейство дисциплин, ориентацией на принципиально иную картину исследуемой реальности, новую парадигму, вызывает коренные изменения в самой структуре этой дисциплины. Однако не менее важное значение имеет и анализ эволюции научной дисциплины, постепенного усовершенствования и развития ее внутренней структуры. Необходимо «не забывать основной исторической связи, смотреть на каждый вопрос с точки зрения того, как известное явление в истории возникло, какие главные этапы в своем развитии это явление проходило, и с точки зрения этого его развития смотреть, чем данная вещь стала теперь»<sup>20</sup>.

---

<sup>19</sup> Койре А. Der Gott der Werktaages und der Gott des Sabbat. Newton und Leibniz. In: Von der geschlossenen Welt zum unendlichen Universum. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1980.

<sup>20</sup> Ленин В.И. Полн. собр. соч. Т. 39, с. 67.

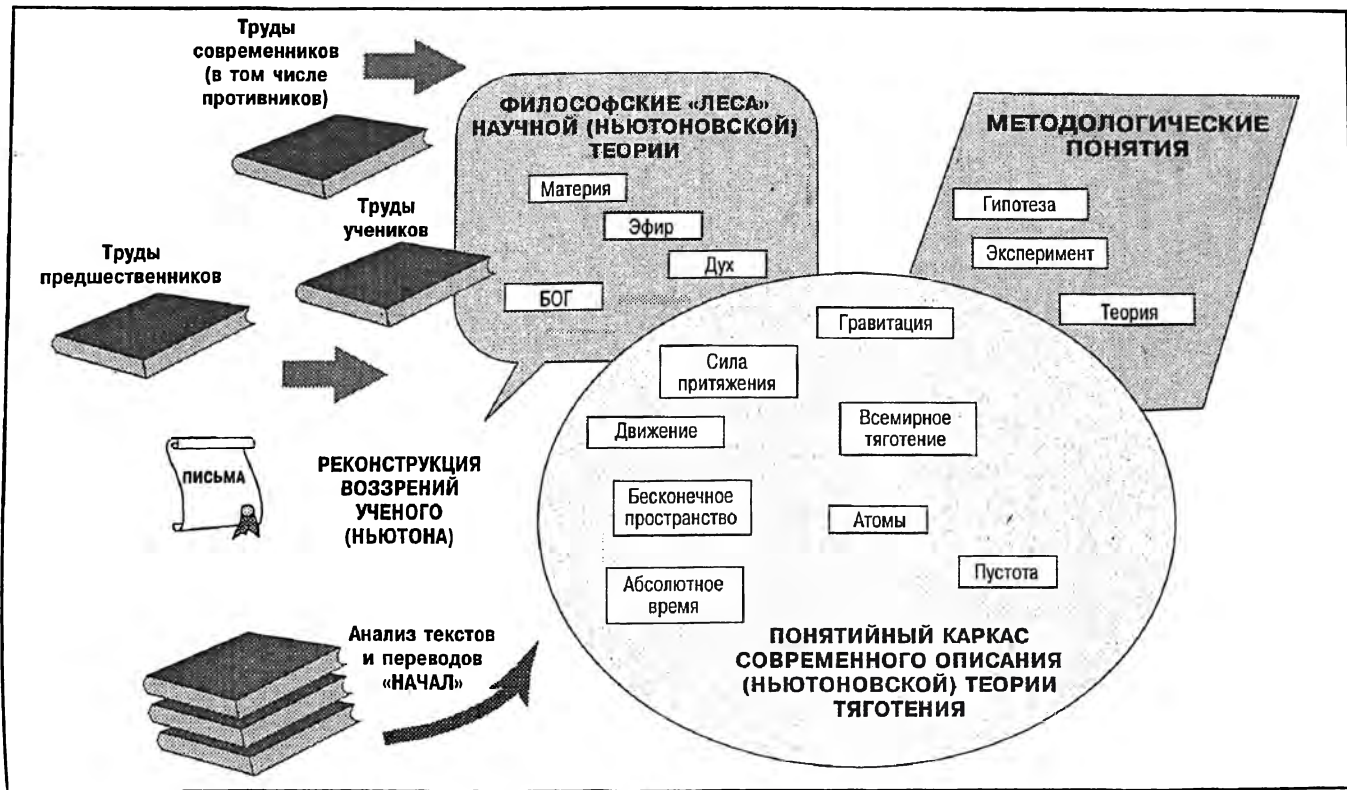


Рис. 15. Историко-критический анализ внутреннего генезиса концептуальных структур науки по А. Коюре



*Модель внешнего развития* (модель научных революций) разработана в концепции научных революций Т. Куна<sup>21</sup>. Основное понятие этой концепции — *парадигма*, т. е. господствующая теория, задающая норму, образец научного исследования в какой-либо области науки, определенное видение мира учеными. Парадигма основана на вере. В ответ на критику<sup>22</sup> Кун уточняет это весьма многозначное понятие, выделяя два его основных значения:

1) полная совокупность верований, ценностей, фактов, которых придерживаются члены данного научного сообщества (социологический смысл);

2) образцовый пример прошлых достижений науки, заменяющих собой правила решения задач в нормальной науке (методологический смысл).

Важным для концепции Куна является также понятие *научное сообщество*, состоящее из практикующих специалистов, работающих в определенной научной области. Члены данного сообщества имеют аналогичное образование и подвергаются одинаковому процессу посвящения (введения в научное сообщество), после чего все они пользуются одной и той же специальной литературой, извлекают из нее аналогичные знания по многим пунктам, а границы этой стандартной литературы маркируют обычно границы данной научно-исследовательской области.

Члены научного сообщества в период научных революций могут образовывать *конкурирующие* между собой *научные школы*; в результате победы одной из них возникает бесконкурентное, или нормальное, сообщество, характеризующееся тем, что:

его участники считают себя ответственными за достижение известных общих целей, к которым, в частности, относится обучение молодого научного поколения;

между его участниками осуществляется довольно интенсивная научная коммуникация;

его участники придерживаются единого мнения в области профессиональных вопросов<sup>23</sup>.

Модель внешнего (революционного) развития по Куну состоит из следующих фаз: предпарадигматический период — нормальная

---

<sup>21</sup> Томас Кун (1922–1996) — американский историк и философ науки, один из лидеров исторической школы в философии науки, профессор Чикагского университета. Особую известность ему принесла публикация в 1962 г. книги «Структура научных революций», выдержавшей большое количество переизданий и изданной в том числе на русском языке в 1975 г. В этой книге содержится острая критика не только неопозитивистской, но и попперовской философии и провозглашается необходимость и приоритетность историко-научного анализа. Классический образец такого рода анализа был дан самим Куном в его более ранней работе «Коперниканская революция» (Kuhn T. The Copernican Revolution. Planetary Astronomy in the Development of Western Thought. Harvard University Press, 1957).

<sup>22</sup> См., например, статью М. Мастерман «Природа парадигмы» в кн.: Lakatos I. / Musgrave A. Criticism and the Growth of Knowledge. Cambridge, 1970.

<sup>23</sup> Hoyningen-Heune P. Die Wissenschaftsphilosophie Tomas S. Kuhns. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1989, S. 21.

наука — экстраординарная наука (научная революция) — снова фаза нормальной науки и т. д. (рис. 16).

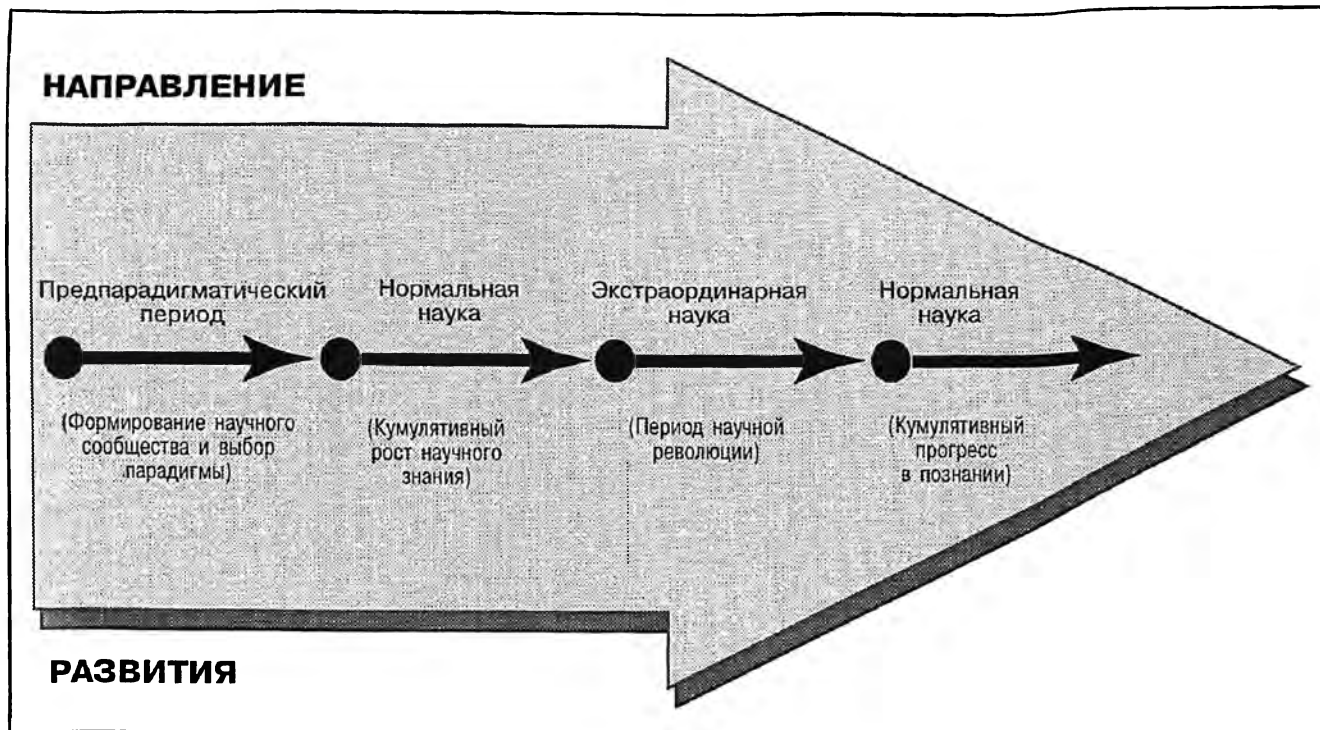
*Предпарадигматический период* характерен лишь для ранних стадий еще незрелой науки, во время которых различные точки зрения, претендующие на роль парадигмы, конкурируют между собой. Этот период характеризуется частыми и глубокими обсуждениями законности методов, проблем и стандартных решений науки, конкуренцией между различными научными школами, претендующими на господствующее положение в данной научной дисциплине. Предпарадигматический период, относящийся фактически к генезису науки, практически находится за пределами рассмотрения модели развития по Куну, поскольку отличительной особенностью развитой науки является как раз наличие в ней парадигмы.

В *период нормальной науки*, которая является весьма детерминированной деятельностью (парадигма и есть образец нормального исследования), основания науки не подвергаются сомнению, происходит обычное функционирование науки — рутинное решение стандартных научных задач. В нормальной науке предусмотрены правила, определяющие природу допустимых решений, и методы, посредством которых они достигаются. В период нормальной науки возникает три типа проблем:

- хорошо известные в данной парадигме;
- проблемы, природа которых указана существующей парадигмой, но которые могут быть решены только при дальнейшем развитии теории;
- осознанные аномалии, характерной чертой которых является упорное нежелание быть ассимилированными существующей парадигмой.

Этот период характеризуется кумулятивным ростом научного знания (при неизменности внутренней структуры научной дисциплины, которая в принципе не меняется в процессе нормального функционирования науки). Научное сообщество знает, как устроен мир, и успех нормального научного предприятия в значительной степени обусловлен тем, что члены научного сообщества готовы любой ценой защищать свои связанные традицией представления.

Главное звено модели развития науки по Куну — *экстраординарные исследования*, которые проводятся, когда профессионалы уже не могут избежать аномалий, разрушающих существующую в науке традицию. Происходит смена парадигм, так как ни одно нормальное научное исследование в развитой науке невозможно при отсутствии парадигмы. Именно замену одной парадигмы другой Кун и называет *научной революцией*, приводящей к ломке существующих в науке социальных институтов, конфликту между конкурирующими школами научной мысли, поддерживающими различные парадигмы. Научная революция начинается с кризиса — возникновения нового кандидата на парадигму и борьбы за его признание. Она приводит к изменению взгляда на мир, картины исследуемой реальности для целого ряда дисциплин. Хотя такие изменения влекут за собой существенную



**Рис. 16. Модель внешнего (революционного) развития науки по Т. Куну.**  
Революционное развитие науки через смену парадигмы – господствующей теории, задающей норму, образец научного исследования в какой-либо научной области

перестройку каждой отдельной дисциплины, источник этой перестройки расположен вне дисциплины, в наддисциплинарных образованиях. Об этом свидетельствует тот факт, подчеркиваемый Куном, что именно в период осознания кризисов ученые обращаются за помощью к философии как средству раскрытия загадок в их области исследования. Это симптом перехода от нормального исследования к экстраординарному. Нормальная же наука, по его мнению, держится от философии на почтительном расстоянии.

Переход от одной парадигмы к другой посредством научных революций, сопровождающийся сменой картины мира, — обычный образец развития зрелой науки. Несοизмеримость традиций до и после революционных событий является одним из важнейших свойств научной революции. Революции в науке являются логическим результатом накопления в ходе функционирования нормальной науки аномалий — некоторые из них могут привести не только к необходимости модификации теории, но и ее замене. В этом случае происходит выбор между двумя теориями или более. Кун называет эту фазу развития науки кризисной, или экстраординарной, для которой характерны следующие признаки (в совокупности или отдельно):

- открытая неудовлетворенность теорией, выполняющей роль парадигмы;

- применение регламентирующих правил, до сих пор пригодных для решения научных проблем, которые, однако, все более модифицируются и дополняются по мере длительности кризисного состояния. Выдвигаются новые спекулятивные теории для объяснения известных аномалий, при этом в научном сообществе отсутствует консенсус относительно как модификаций и дополнений старой теории, так и предлагаемых новых теорий;

- отчетливая готовность к экспериментам, результаты которых можно предсказать лишь неопределенно или вообще невозможно предсказать. Например, проводятся эксперименты без ожидания точных результатов, а лишь с целью собрать данные, чтобы точнее локализовать источники аномалии, что часто приводит к открытиям, не согласующимся с господствующей теорией;

- склонность к философскому анализу оснований ведущей исследовательской традиции, что связано с попыткой определить до сих пор неявно сформулированные регламентирующие правила и перепроверить их явным образом.

Наличие этих признаков обуславливает сходство между фазой экстраординарной науки и предпарадигматическим периодом; кроме того, еще одним общим для них моментом является возможность создания различных конкурирующих научных школ. Однако между этими фазами существуют и значительные различия, поскольку фазе экстраординарной науки предшествовал период нормальной науки, а значит, уже существуют области достаточно развитых специализированных знаний, включая словарь необходимых научных терминов, и многочисленные вспомогательные технические средства. Однако главное различие между этими фазами в том, что на фазе экстраорди-

нарной науки уже совершенно ясно, какие из решаемых проблем являются основными. Эти существенные аномалии, которые вызвали кризис, и находятся в центре исследовательской деятельности<sup>24</sup>.

Научные революции, будучи характерной чертой развития современной дисциплинарной науки, не всегда, однако, отчетливо обнаруживаются в периоды нормальной науки, так как при переходе к новой парадигме ее сторонники, стремясь увековечить ее господство, заново переписывают все учебники и содержащуюся в них историю данной дисциплины. Кроме того, научные революции связаны с коренной перестройкой фундаментальных основ соответствующей области науки или даже науки в целом, а таких периодов в истории научной мысли можно насчитать не слишком много. В то же время сведение научных революций к локальным изменениям («микрореволюциям») неоднократно подвергалось критике со стороны методологов науки. Рассматривая, однако, такие изменения в качестве модели внешнего развития научной дисциплины, можно выделить характерные периоды, подобные революциям, в истории практически любой научной дисциплины. При этом следует помнить, что такое рассматривание выявляет лишь один из аспектов научного развития, который необходимо дополнить анализом эволюции ее внутренней структуры.

Рассмотрим в качестве наиболее разработанного примера *модели внутреннего развития науки (эволюционной модели)* концепцию Стивена Тулмина<sup>25</sup>, избравшего в качестве образца исторической динамики концептуальных изменений представление о «естественном отборе».

Рассматривая науку как исторически развивающуюся рациональное предприятие, Тулмин применяет для исследования развития научных идей *общую* теорию эволюции, понимаемую им как обобщение дарвиновской теории популяций, которая, в свою очередь, является лишь частным случаем теории эволюции — зоологической теорией эволюции. В этом случае историческое развитие интеллектуальной дисциплины (т. е. научной дисциплины, выбираемой им в качестве единицы методологического анализа как исторически развивающегося интеллектуального предприятия) будет представлять собой популяционный процесс, но не в специфическом биологическом смысле, а в виде общей формы развития посредством инноваций и отбора. Иначе говоря, в этом случае мы имеем иную реализацию некоей гипотетической общей теории эволюции, чем теория естественного отбора Чарльза Дарвина.

---

<sup>24</sup> См.: *Hoyningen-Heune P. Die Wissenschaftsphilosophie* Tomas S. Kuhns. Braunschweig / Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1989, S. 228–229.

<sup>25</sup> Стивен Тулмин родился в 1922 г. в Лондоне, изучал математику, физику и философию в Кембриджском университете, где защитил диссертацию. В 1955–1959 гг. — профессор в Лидсе, в 1960–1964 гг. — руководитель подразделения фонда Нуффилда по истории идей в Лондоне. В 1965–1969 гг. — профессор философии университета г. Брандес, в 1969 г. — профессор Мичиганского государственного университета. С 1972 г. Тулмин руководит Кроун-колледжем Калифорнийского университета.

По мнению Тулмина, при изучении концептуального развития определенной научной традиции мы сталкиваемся с процессом избирательного закрепления предложенных научным сообществом интеллектуальных вариантов. Поэтому важно иметь в виду два различных аспекта эволюционного анализа развития идей: с одной стороны, взаимосвязь и непрерывность, дающие возможность выделить определенную научную дисциплину, имеющую собственную систему понятий, методов и основополагающих целей, а с другой стороны, продолжительные преобразования (изменчивость), ведущие к радикальной перестройке или распаду научной дисциплины.

Рассматривая концептуальные изменения в рамках какой-либо концептуальной традиции, Тулмин различает:

- единицы отклонения, или концептуальные варианты (новые понятия, идеи и методы), циркулирующие в течение некоторого периода в данной дисциплине;
- единицы эффе́ктивной модификации, т. е. те немногие варианты, которые включаются в интеллектуальную традицию данной дисциплины на основе их постоянного критического отбора.

Таким образом, он выделяет:

*нововведения* — возможные способы развития существующей традиции, предлагаемые ее сторонниками и удерживаемые лишь с целью последующего доказательства их пригодности для возможного решения стоящей проблемы, но еще не принятые и не отклоненные;

*отбор* — решение ученых выбрать некоторые из предлагаемых нововведений и посредством них модифицировать традицию, в том числе касающуюся способов выбора, с помощью которых одни варианты признаются, а другие отклоняются. Наконец, эволюционно-теоретический анализ интеллектуального развития основывается на целостной системе взаимосвязанных понятий, определяющей «интеллектуальную экологию» определенной историко-культурной ситуации. Тулмин называет ее также локальной «интеллектуальной окружающей средой», требованиям которой должны наиболее соответствовать выбираемые для признания в данной дисциплине нововведения. С этой точки зрения, попперовский метод «предположения» и «опровержения» определяет необходимые «экологические» (т. е. внешние) условия того, что изменение и выбор действительно приводят к существенным научным переменам.

Далее Тулмин демонстрирует популяцию идей определенной исторически развивающейся дисциплины в трех основных аспектах (рис. 17):

- во временном срезе, связанном с отношениями между одновременно существующими идеями;
- в генеалогическом представлении, т. е. с точки зрения интеллектуальной преемственности, когда прослеживается линия существования отдельной идеи или понятия, ее разветвление или прекращение существования;
- в эволюционной модели, сочетающей оба предыдущих аспекта и различающей, с одной стороны, введение интеллектуального варианта в ходе происходящей дискуссии, преимущества которого

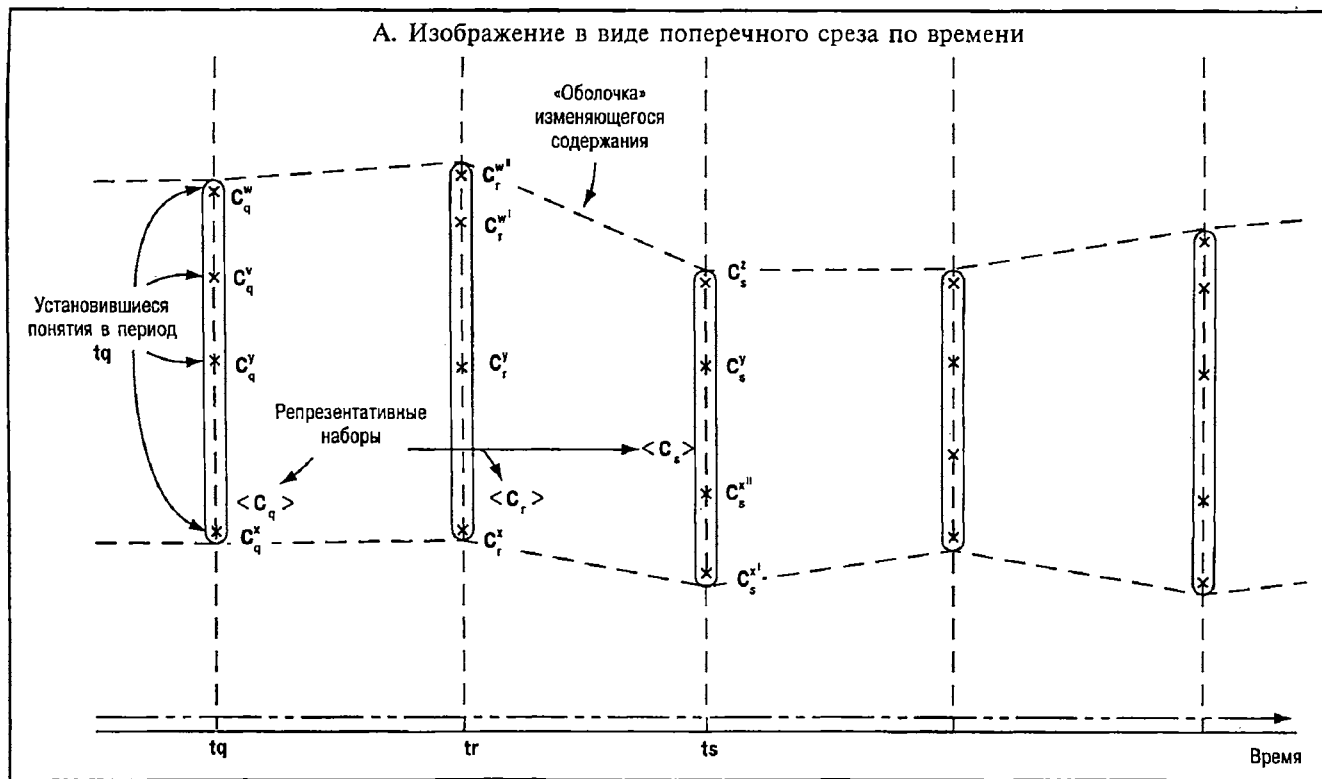
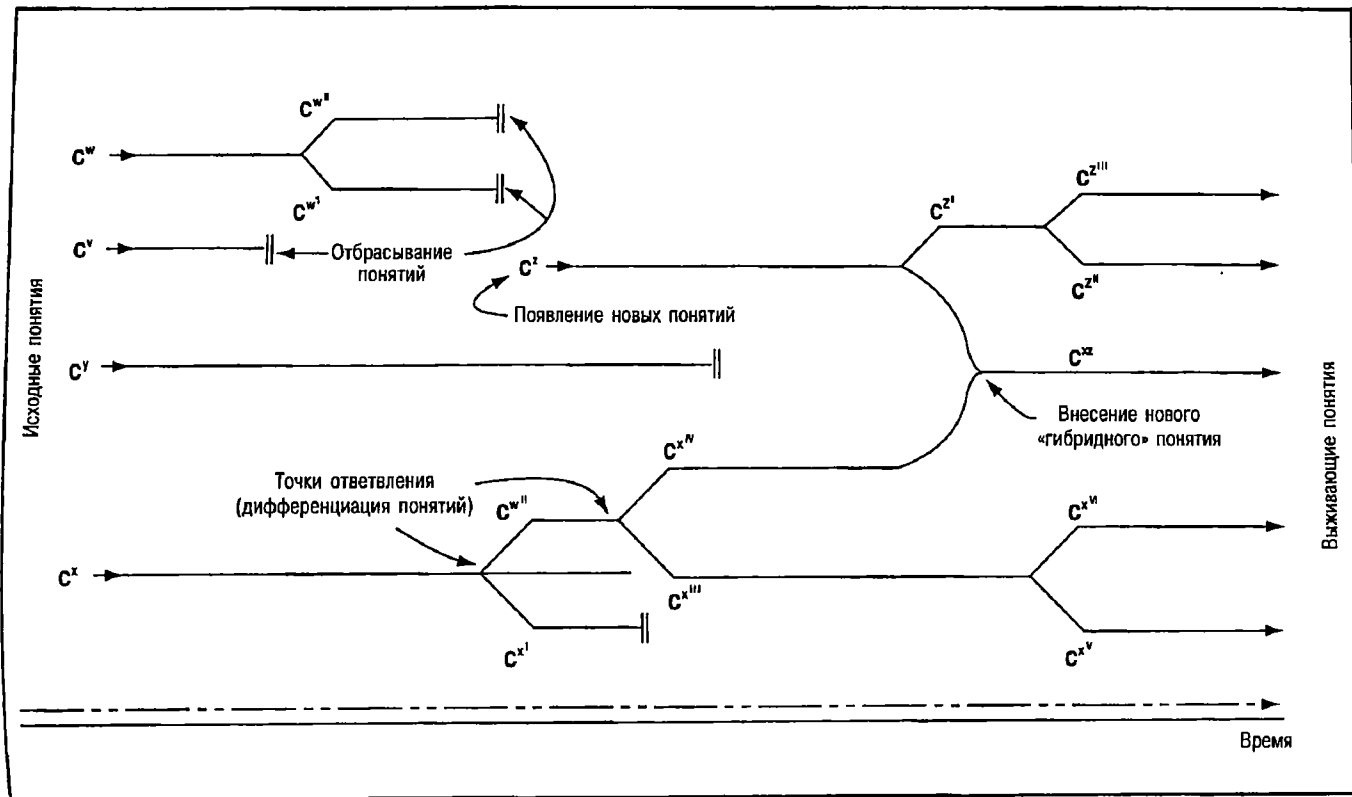


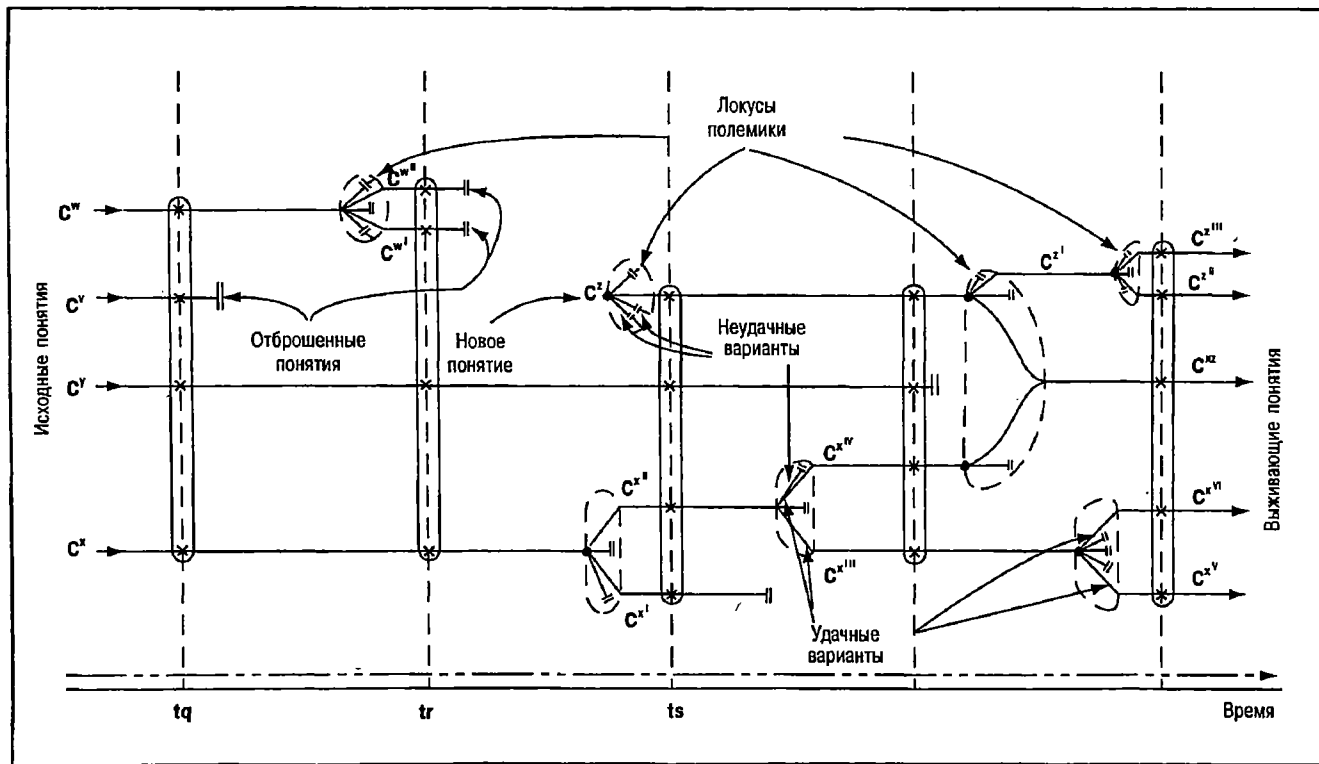
Рис. 17. Эволюционная модель внутреннего развития науки по С. Тулмину

Б. Продольное, или генеалогическое, изображение





### В. Эволюционное изображение



еще не установлены, а с другой — принятие избранных вариантов в признанный круг идей. Эта модель показывает также, что каждое разветвление или прекращение генеалогической линии идейного развития никогда не происходит моментально, а представляет собой весьма сложный процесс проб и ошибок. В рамках эволюционной модели показывается, при каких условиях равновесие между варьированием и выбором приводит в длительной перспективе к сохранению преемственности в рамках отдельной дисциплины или при каких обстоятельствах вместо этого произойдет либо ее гибель, либо распад на несколько дисциплин-преемниц.

Тулмин подчеркивает, что если открытие новой истины может произойти по инициативе отдельных ученых, то развитие новых идей — дело научного сообщества. В то же время не только выдвижение и модификация новых идей, но и возможность их появления определяются социокультурными факторами. В Древнем Китае, например, накопившем довольно много данных астрономических наблюдений и имевшем достаточно продвинутой по тем временам технику, в принципе не могло появиться ни китайского Галилея, ни астрофизики как самостоятельной дисциплины. В отличие от западноевропейских стран, где астрономия основывалась на рациональном, абстрактном понимании геометрии как чисто теоретической дисциплины, в Китае геометрия оставалась прагматической наукой, собранием формул и искусственных приемов для измерения земельных участков, не образующим логической сети абстрактных утверждений. Кроме того, культурно-исторические условия развития древнекитайской цивилизации объясняют тот факт, что господствующий слой в Китае был озабочен прежде всего сохранением морального порядка на Земле, но никак не интеллектуальными нововведениями или тем более космологией или натурфилософией. Следовательно, математическая астрономия вообще была не нужна. Общественный консерватизм обусловил методологический консерватизм. Таким образом, научная дисциплина не могла бы возникнуть не только без развития теоретических традиций логики, философии, математики и основ естествознания, но прежде всего без существования соответствующих институциональных традиций.

Возникновение научных дисциплин и нововведений в них возможно лишь при условии существования коллективной научной профессии, представители которой придерживаются общих идеалов и являются институционально организованными. Поэтому наряду с понятием интеллектуальной дисциплины Тулмин использует и понятие интеллектуальной профессии, которая представляет собой институализированную дисциплину как популяцию уже не научных идей, а самих ученых, выдвигающих эти идеи. Причем институциональное развитие протекает параллельно эволюции идей, т. е. теоретическому развитию. В конечном счете теоретическая история какой-либо конкретной научной дисциплины, институциональная история соответствующей ей научной профессии и биографии участвующих в ней ученых тесно взаимосвязаны, оказывают влияние друг на друга и поэтому должны анализироваться в совокупности, независимо от того, какой из сторон отдается приоритет в конкретном исследовании.

По мнению Тулмина, в то время как значительная часть концептуальных нововведений и скорость интеллектуальных перемен обусловлены внешними по отношению к науке факторами (т. е. влиянием социокультурных отношений на дисциплинарное развитие), критерии отбора, на основе которых они оцениваются, являются в значительной степени профессиональными и потому внутренними. Он делает акцент на анализе эволюции именно внутридисциплинарных концептуальных изменений. Вместо революционного объяснения (внешнего развития дисциплины), которое призвано показать, что целостные концептуальные системы следуют одна за другой, Тулмин выдвигает эволюционное объяснение (внутреннего развития дисциплины), которое должно показать, как прогрессивно трансформируются концептуальные популяции.

Оценка теоретических вариантов в структурно развитой научной дисциплине производится, по Тулмину, тремя способами:

- сравнение, в виде которого всегда осуществляется тщательная оценка;

- оценки неформального свойства, которые используются при определении того, имеет ли тот или иной теоретический вариант большую или меньшую способность объяснения. Эти оценки основаны на сиюминутных профессиональных идеалах и приоритетах. Теоретические же нововведения основаны не на отношениях между высказываниями, сформулированными с помощью понятий лишь одной единственной теории, а на утверждениях конкурирующих теорий, точнее, утверждениях о том, какие различные возможные теоретические изменения могли бы привести к достижению соответствующих научных целей;

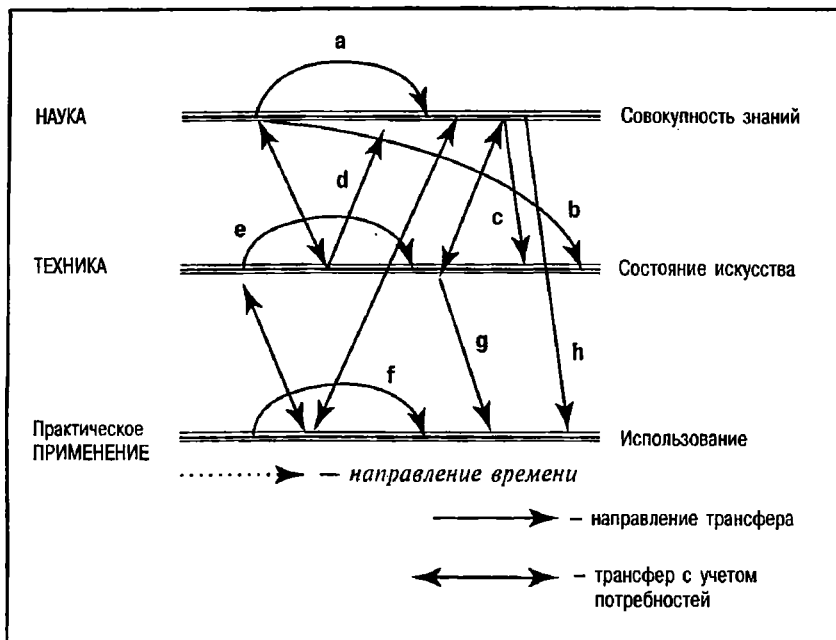
- учет побочных теоретических воздействий, появляющихся в процессе решения специальных проблем и оказывающих зачастую решающее влияние на мнение научного сообщества, высказывающегося за или против данного нововведения.

Формируя эволюционную концепцию соотношения науки и техники, Тулмин выделяет три взаимосвязанные, но самостоятельные сферы: науку, технику и практическое использование, — в каждой из которых внутренний инновационный процесс происходит по эволюционной схеме. Он полагает, что разработанная им модель эволюции научной дисциплины применима и для описания исторического развития техники, в процессе которого изменяются, однако, не концептуальные популяции, а инструкции, проекты, практические методы, приемы изготовления и т. д. Новая идея в технике часто, как и в науке, приводит к появлению новой технической дисциплины. Техническое развитие происходит за счет отбора инноваций из запаса возможных технических вариантов. Однако, если критерии отбора успешных вариантов в науке являются главным образом внутренними профессиональными критериями, то в технике они, как правило, будут внешними. Для их оценки важны не только такие специфически технические критерии, как эффективность или простота изготовления, но и такие внешние по отношению к технике, но важные для

общества критерии, как отсутствие побочных негативных последствий. Профессиональная ориентация инженеров в разных странах различна (в одних странах она в большей степени обусловлена научными, в других — коммерческими устремлениями). Кроме того, скорость введения инноваций в технике в значительной степени зависит от социально-экономических факторов.

Для описания взаимодействия этих трех автономных эволюционных процессов Тулмин использует ту же схему естественного отбора (рис. 18):

- создание новых вариантов (фаза мутаций);
- создание новых вариантов для практического использования (фаза селекции);
- распространение успешных вариантов внутри каждой сферы на более широкую сферу науки и техники (фаза диффузии и доминирования)<sup>26</sup>.



**Рис. 18. Взаимодействие науки и техники по С. Тулмину**

Направления приложения: **а** — от одной науки к другой, **б** — от науки к технике (медленный путь), **с** — от науки к технике (быстрый путь), **д** — от техники к науке (например, инструменты), **е** — от техники к технике, **ф** — от одного практического использования к другому, **г** — от техники к практическому использованию, **h** — от науки к практическому использованию

<sup>26</sup> Toulmin S. Innovation and the Problem of Utilization. In: Factors in the Transfer of Technology. Cambridge: The M.I.T. Press, 1969.

Таким образом, из основных современных западных концепций философии науки, которые, как мы убедились, являются взаимодействующими, к анализу собственно самого развития имеют отношение только две — концепции С. Тулмина и Т. Куна. Первая фиксирует эволюцию — внутреннее развитие научных дисциплин, вторая — внешнее развитие, т. е. механизмы порождения новых научных дисциплин в условиях зрелой науки посредством научных революций. Остальные модели динамики научного знания отображают его генезис и функционирование. При этом все они отодвигают на второй план проблему методологического анализа структуры науки, находящуюся в центре внимания «стандартной концепции». Обратимся теперь к попытке обогатить имеющееся в «стандартной концепции» представление о структуре науки за счет его объединения с динамической моделью науки, и в первую очередь с моделью научных революций Т. Куна.

## 5. Попытка объединения статической и динамической моделей науки в структуралистской концепции науки

Попытка формализации модели научного развития и ее синтеза с моделью структуры науки содержится в так называемой структуралистской концепции теории, восходящей к предложенной Дж. Снитом и развитой далее В. Штегмюллером<sup>27</sup> логической реконструкции модели развития научного знания по Т. Куну. Представители структуралистской концепции исходят из ставшей уже традиционной в современной философии науки «стандартной концепции», развитой логическими позитивистами, однако фактически расширяют эту концепцию с учетом последних достижений в области анализа роста научного знания. В работах Снида<sup>28</sup> теории в математической физике рассматриваются как пары, состоящие из математической структуры (ядра) и ее предполагаемых приложений. Эта новая программа изучения структуры и роста научных теорий, которая противоречит традиционной точке зрения на теорию как на множество утверждений, сделала возможной логическую реконструкцию куновской концепции развития науки, получившую поддержку самого Т. Куна. В книге Штегмюллера «Структура и динамика теорий»<sup>29</sup> показана взаимосвязь снитовских и куновских идей. Именно с момента выхода этой книги идеи Снида вызвали большой интерес у философов науки и стали объектом многочисленных обсуждений. Перед Снитом и Штегмюллером и их сотрудниками возникли, однако, многочисленные вопросы:

<sup>27</sup> Вольфганг Штегмюллер (род. в 1923 г.) — австрийский философ, историк и теоретик науки. Диссертацию по философии он защитил в 1949 г. в университете г. Инсбрука. С 1958 г. — профессор университета г. Мюнхена (ФРГ).

<sup>28</sup> См. прежде всего: *Sneed J. The Logical Structure of Mathematical Physics.* Dordrecht: Reidel, 1971.

<sup>29</sup> См.: *Stegmüller W. The Structure and Dynamics of Theories.* N.Y.-Heidelberg-Berlin: Springer Verlag, 1976; немецкое издание вышло в 1974 г.

- насколько адекватно теоретико-множественный формализм по Сниду представляет структуру научных теорий и моделей роста научного знания;
- может ли он быть распространен на другие области физики; в какой мере с его помощью можно реконструировать реальную историю науки;
- какие новые представления генерирует этот новый формализм о динамике теории;
- в какой мере он позволяет формализовать концепцию научного изменения Т. Куна?

Снид во время одной из дискуссий подчеркнул, что отношение между неформализованными, содержательно-интуитивными описаниями научных теорий и их формализованными двойниками чем-то сходно с отношением между теорией и экспериментальной деятельностью. Конечно, неформальные описания науки, подобные моделям Куна, Лакатоса и других философов науки, не аналогичны экспериментальной деятельности в строгом смысле слова; они скорее пытаются выработать некий согласованный взгляд на результаты эмпирических исследований в истории и социологии науки. На поставленный им самим же вопрос, что же добавляют к ним формализованные описания научных теорий, что они дают для понимания научной деятельности, Снид отвечает следующим образом. Во-первых, на уровне общих требований к природе эмпирической науки они могут выработать средства для проведения более точных различий, которые замаскированы в обыденном языке. Во-вторых, на уровне конкретных исследований науки формальное описание структуры эмпирических теорий может быть полезным эвристическим принципом построения таксономий на базе интуитивных знаний ученых. Однако в данном случае нас больше интересует не формальное, а, во-первых, содержательное описание структуры научной теории, выработанное приверженцами структуралистской концепции на основе логико-методологического анализа модели развития научного знания и, во-вторых, возможность его использования для описания конкретных научных теорий. Для выяснения первого аспекта обратимся к работам одного из основоположников структуралистской концепции В. Штегмюллера и известного финского логика и методолога науки И. Ниинилуото, для выяснения второго рассмотрим попытку применения этой модели для анализа конкретной теории — равновесной термодинамики, — предпринятую К.-У. Мулинесом.

Штегмюллер подчеркивает, что если стандартная концепция представляет собой микроанализ микроструктуры теории, то структуралистская концепция начинается с исследования глобальных структур теорий. Формальная сторона физической теории характеризуется наличием математической структуры, содержащей теоретико-множественные предикаты, с помощью которых аксиоматизируется физическая теория; причем каждая физическая теория использует одну характерную для нее математическую структуру ( $S$ ). К эмпирическим утверждениям теории относится то, что называется приложением этой структуры к

физической системе ( $a$ ) (например, Солнечной системе). Высказывание « $a$  есть  $S$ » представляет собой гипотетическое предположение, что физическая система  $a$  есть сущность, которая соответствует математической структуре  $S$ . Математическая структура обозначается так же, как основной закон данной теории, и является фундаментальной в том смысле, что идентично повторяется во всех приложениях. Каждая теория состоит из ядра и множества предполагаемых приложений. Эта взаимосвязанная пара образует элементы теории. Приложения теории включают в себя как подтвержденные, или актуальные, так и возможные, или потенциальные, приложения. Расширенное ядро теории включает в себя помимо основного закона, т. е. множества всех возможных моделей (математическая структура теории), которые не исключаются основным законом, также и множество возможных частных моделей, удовлетворяющих некоторым специальным законам, и множество ограничений, исключающих некоторые комбинации компонентов в различных потенциальных моделях. Именно эти частные потенциальные модели и обозначаются как предполагаемые приложения теории ( $I$ ). Между этими различными предполагаемыми приложениями устанавливаются связи, которые налагают ограничения на теоретические функции. Это значит, что теоретические функции, используемые в различных приложениях теории, не являются независимыми друг от друга, а, напротив, между их значениями существуют вполне определенные отношения. Таким образом, понятие теории в своем первоначальном стандартном значении выступает теперь в качестве базисного элемента теории и расширяется посредством особых операций специализации, образуя целостную теоретическую сеть. Штегмюллер подчеркивает, что структуралистская модель теории не конфликтует со стандартной концепцией, а дополняет ее. Кроме того, она основывается на формализации модели развития науки по Куну.

Одна и та же теория (аристотелевская физика, теория Ньютона, квантовая физика и др.), принадлежащая к определенной научной традиции и представляющая собой фактически одну и ту же теорию, со временем обрастает различными гипотетическими предположениями и по-разному оценивается. Все это время она может быть использована для решения определенных научных задач, что Кун и назвал нормальной наукой, и состоит из расширенного ядра и множества предполагаемых приложений этой теории, которое Штегмюллер идентифицирует с куновским понятием «парадигма». В период нормальной науки господствующая теория имеет иммунитет при встрече с фальсификациями: в случае неудачного расширения ( $E$ ) ядра ( $K$ ) ответственность за неуспех несет не теория, т. е. ее ядро, а ученый, принявший это неудачное расширение. Ученый же, осуществляющий экстраординарное, по Куну, исследование, создает новые структурные ядра в отличие от ученого, деятельность которого заключается лишь в предоставлении уже утвердившейся в научном сообществе теории в распоряжение для разрешения возникших проблем и в использовании ее ядра для гипотетического расширения на новую проблемную область. Штегмюллер, иллюстрируя эту ситуацию, проводит параллель

с деятельностью ремесленника (предостерегая, однако, от чисто инструменталистского понимания): если перед плотником возникает задача, которую он не в состоянии решить с помощью уже созданных инструментов и, кроме того, если он не обладает способностью сконструировать соответствующий лучший инструмент (или не находит того, кто обладает такой способностью), то он должен сменить профессию, если не хочет умереть от голода. Не достигший успеха ученый, обвиняющий в ошибочности саму теорию, может быть, по словам Куна, уподоблен плохому ремесленнику, который всегда винит не себя, а свои инструменты. Сказанное относится к любым применениям теории, а не только к принадлежащим ко множеству парадигмальных примеров. Другими словами, иммунитет теории по отношению к фальсификациям сохраняется, если не только отдельный ученый, но даже целое поколение ученых не в состоянии успешно ее применить. В таком случае принимается решение удалить соответствующую область из класса предполагаемых приложений данной теории — например, когда не оправдалась надежда Ньютона объяснить световые явления с помощью классической механики частиц, специалисты не объявили теорию Ньютона фальсифицированной, а, напротив, заключили, что свет не состоит из частиц.

В отличие от Поппера, утверждающего, что новая теория принимается лишь после фальсификации ее предшественницы, по Куну новая теория приходит непосредственно на смену старой, что Штегмюллер называет непосредственным вытеснением теории теорией-заместителем. Кроме того, по Куну вытесняемая и вытесняющая теории несоизмеримы, что является существенной чертой научной революции. Штегмюллер различает кумулятивный и линейный прогресс в рамках нормальной науки (или, иначе, внутри научно-исследовательской программы) и прогресс в ходе научной революции, сопровождающийся радикальным преобразованием теории или, точнее, заменой одной исследовательской программы другой и прерывающий кумулятивное развитие. Чтобы учесть в концепции теории и ее развитие, он вводит в ее состав наряду с уже упоминавшимися абстрактными элементами и научное сообщество ( $SC$ ), и исторический временной интервал ( $h$ ). Тогда представление теории выглядит следующим образом:  $T = \langle K, I, SC, h \rangle$ . Поскольку элементы теории в результате их специализации могут многократно повторяться, образуя сложную сеть, историческая эволюция представляется исторической последовательностью таких сетей<sup>30</sup>.

По мнению Ниинилуото, структуралистская концепция теории по существу эквивалентна точке зрения на теорию как на множество утверждений — наиболее важное их различие заключается в ведении понятия «предполагаемые приложения». Если ядро теории имеет только одно предполагаемое приложение, то структуралистская концепция становится эквивалентной старой одноуровневой точке зрения.

---

<sup>30</sup> Stegmüller W. Neue Wege der Wissenschaftsphilosophie. Berlin, Heidelberg, New York: Springer-Verlag, 1980.



По Сниду теории математической физики принадлежат к другому типу, поскольку содержат математическое ядро, являющееся средством или инструментом, который может быть полезным при столкновении с опытом. Эти ядра — ньютоновские законы, максвелловские уравнения и т. п. — создаются теоретиками, а затем на базе первых успехов в приложении его к определенным явлениям осуществляются попытки расширить сферу таких приложений.

Критикуя концепцию научных революций Куна, исключаящую, по его мнению, из нормальной науки все формы концептуальных изменений, Снид подчеркивает необходимость допущения некоторых небольших изменений в базисных законах и ограничениях. Конечно, в нормальной науке негативные проверочные результаты дискредитируют не теорию, а ученого. Теряя же какой-либо элемент из множества приложений, теория фактически модифицируется (поскольку со структуралистской точки зрения приложения являются частью теории), а это уже дискредитирует не ученого, а саму теорию.

По Штегмюллеру существуют два рода научных революций: переход от «дотеории» к теории; вытеснение одной теорией другой.

Теория-вытеснитель, по мнению Ниинилуото, не является экспликатом куновской научной революции, поскольку вытесненная теория должна быть сводима к вытесняющей теории. Снидовское понимание куновской модели неадекватно объясняет, почему такое изменение парадигмы должно излагаться как изменение взгляда на мир. Переход от одной теории к другой не всегда может быть назван революционным. Согласно Штегмюллеру нормальный научный прогресс может быть определен как кумулятивное развитие. В прогрессивных научных революциях вытесненная теория может быть частично включена в теорию-вытеснитель. Важная черта такого описания научного прогресса, с точки зрения Ниинилуото, — возможность прогрессивного ветвления и в нормальной науке, и в теории-вытеснителе<sup>31</sup>.

Таким образом, представление о развитии науки посредством научных революций сводится фактически к эволюции внутренней структуры, ветвлению и смене теорий, что сближает ее скорее с эволюционной моделью Тулмина. Введение в структуру научной теории существующих и потенциальных приложений в отличие от ядра теории соответствует понятиям защитного пояса гипотез и жесткого ядра исследовательской программы в концепции Лакатоса. Однако особенно важной проверкой адекватности структуралистской концепции ее собственным же исходным утверждениям является применение развитой в ней модели науки к анализу конкретного историко-научного материала.

Попытку такого анализа осуществил К.-У. Мулинес на конкретном материале развития равновесной термодинамики (термостатики),

<sup>31</sup> См.: Theory Change, Ancient Axiomatic, and Galilee's Methodology. Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science. Vol. I. Dordrecht: Reidel, 1981, p. 6–38.

которую он рассматривает не как единичную теорию, а как целостную группу, семейство (кластер) теорий. Для этого он вводит понятие «фрейм теорий», т. е. концептуальной структуры, являющейся промежуточной между единичной теорией и целой научной дисциплиной и, таким образом, единицей методологического анализа, отличной от стандартной концепции.

Следуя Штегмюллеру, Мулинес называет рассмотрение теории как множества утверждений, или, точнее, множества аксиом с их следствиями, микрологическим анализом. Однако Кун, Тулмин и другие критики этой классической концепции доказали, что в науке в качестве единиц методологического анализа должны быть выбраны более крупные структуры, а Снид и Штегмюллер — что такого рода интуитивно выделенные структуры могут быть определены также формально. Таким образом, микрологический анализ должен быть дополнен макрологическим анализом более общих структур — теорий в новом, расширительном смысле, занимающих промежуточный уровень между целой эмпирической наукой и отдельными эмпирическими законами. Однако, по мнению Мулинеса, макрологический анализ Снида—Штегмюллера является неполным, так как есть еще более общие структуры — фреймы теорий, объединяющие целые группы теорий, которые построены по единственному парадигматическому образцу. Например, простая равновесная термодинамика является таким образом для термодинамики в целом как семейства, или фрейма термодинамических теорий. Можно указать также на фрейм теорий классической механики, фрейм теорий квантовой механики и т. д. Все теории, входящие в фрейм, составляют своего рода семейство, которое отличается от других таких семейств физики. Они часто представлены в одной книге, и студенты изучают их как единое целое. Куновское понятие нормальной науки применимо скорее к научной деятельности, развиваемой внутри таких фреймов, чем к научной работе в отдельной специальной теории.

Мулинес различает четыре концептуальных уровня, на которых осуществляется теоретическая деятельность в науке:

0 — стадия сбора экспериментальных данных и данных наблюдения;

1 — непосредственная теоретизация природных явлений, ведущая к формулировке эмпирических понятий и законов для объяснения и предсказания этих явлений;

2 — внесение ясности и порядка в науку (логико-методологический уровень); объектом исследования здесь являются не сами природные явления, а понятия и законы, относящиеся к ним (типичный пример — аксиоматизация эмпирической теории);

3 — разработка общих понятий и моделей для описания теорий, которые уточнены на уровне 2. Это уже типично философская задача, и объектом исследования становятся целые группы: семейства аксиоматизированных теорий. Собственноручно осуществленный анализ Мулинес относит именно к этому концептуальному уровню, поставив целью разработать метатеорию термодинамических теорий, т. е. ре-

конструировать по крайней мере некоторые существенные аспекты, общие для всех термодинамических теорий, на базе метода теоретико-множественной аксиоматизации. Он анализирует основные понятия, составляющие операциональную основу термодинамики: состояние, равновесие, переход и соединение.

Мулинес подчеркивает, что осуществленный им анализ термодинамики носит фактически все же синхронический характер, но разработанные при этом понятия могут быть использованы и для диахронического анализа науки, прежде всего ее эволюции. При этом исследование эволюции фрейма теорий должно включать в себя эволюцию не только единичных теорий и их взаимосвязей, но и их операциональных аспектов<sup>32</sup>.

Таким образом, структуралистская концепция науки имеет принципиально иные ориентации, чем неопозитивистская стандартная концепция структуры науки, хотя также исходит из посылок логико-методологического анализа строения научного знания. В соответствии с ней впервые в сферу такого анализа попадают процессы развития науки и научной теории. Во многих современных моделях динамики науки структурный аспект отступает на задний план и специально, как правило, не анализируется. Однако без такого анализа исследование развития как качественного изменения структуры научной теории, знания, деятельности будет неполным. В структуралистской модели предпринята попытка использовать все рациональное, выработанное в стандартной концепции, которая хотя и существенно модифицируется, но не отбрасывается. Многими же ее критиками в современной философии науки нарушается принцип преэминентности, реализовать который применительно к науке они сами и стремятся.

---

<sup>32</sup> См.: Probabilistic Thinking, Thermodynamics and the Interaction of the History and Philosophy of Science. Proceedings of the 1978 Pisa Conference on the History and Philosophy of Science. Vol. II. Dordrecht: Reidel, 1981, p. 211–237.

## РАЗДЕЛ 2

# ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ В ИСТОРИИ КУЛЬТУРЫ

---

---

### Глава 1. ОСОЗНАНИЕ МЕСТА НАУЧНЫХ И ТЕХНИЧЕСКИХ ЗНАНИЙ В ДРЕВНИХ КУЛЬТУРАХ И ПРЕДСТАВЛЕНИЕ О НАУКЕ И ТЕХНИКЕ В АНТИЧНОЙ ТРАДИЦИИ

В предыдущем разделе мы рассмотрели современные концепции развития науки и техники, методы, которыми пользуются философы, науковеды, историки при исследовании науки и техники, получили представление о различных «лабораториях» изучения истории научных и технических идей. Теперь настало время рассмотреть саму объективную историю идей. Разум наш испорчен предыдущими методологическими рефлексиями, и уже невозможно делать вид, что объективная история не зависит от исследующего ее субъекта и его концепции. Однако, не акцентируя внимания на методологической позиции философа науки и техники, рассмотрим «чистую» историю науки и техники, как это сделал бы историк культуры (науки, техники, экономики и т. д.), — в том числе переход от канонической (традиционной) к проектной (современной) культуре, от древней техники к современной науке и технике, от *Homo faber* (существа технического) к современному ученому и инженеру (рис. 19).

Лишь в конце раздела мы обратимся к методологической позиции философии науки и техники, чтобы на примере Галилея показать, что интерпретация историко-научных и историко-технических фактов не является столь однозначной, как это часто представляется в классических учебниках.

Обращение к прошлому, к истории науки и техники очень важно для понимания концепций современного естествознания и техники, тенденций их развития.

Чтобы наглядно представить ход исторического развития, перечислим основные временные периоды культурного развития человечества:

- 1 000 000 лет до н.э. — первобытные люди, населившие Азию, Африку и Европу, изготавливают первые орудия из обтесанного камня и живут за счет охоты и рыбной ловли;
- 800 000 лет до н.э. — открытие огня и постепенное получение навыков его использования;
- 30 000 лет до н.э. — совершенствование орудий труда и охоты за счет лучшей обработки камня и использования костей убитых животных;

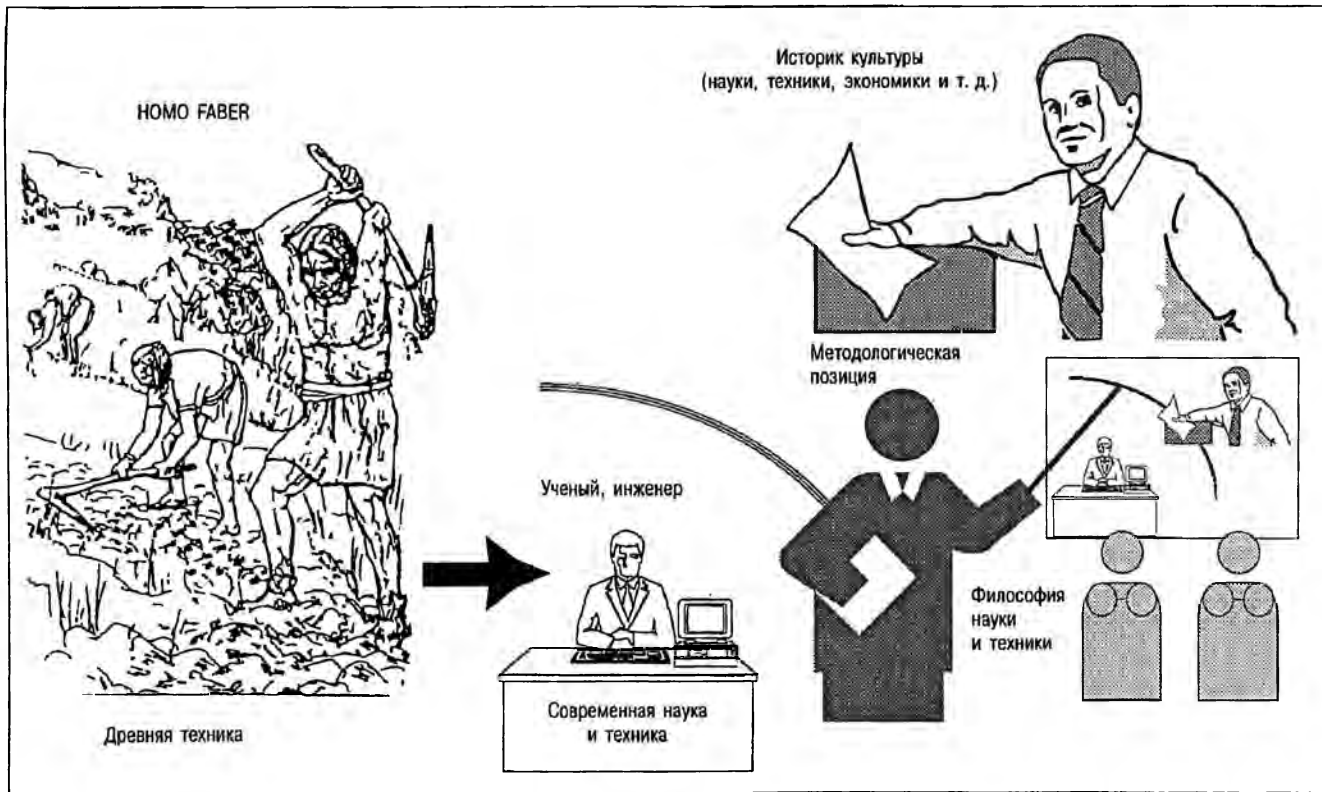


Рис. 19. От казаческой (традиционной) к проектной культуре

7000 лет до н.э. — начало земледелия и скотоводства;

4000 лет до н.э. — появление первых общественных структур, египетской культуры в долине р. Нил;

3500 лет до н.э. — использование письма, с которого начинается история человечества;

- 500 лет до н.э. — расцвет древнегреческой культуры, строительство в Афинах Парфенона в честь богини Афины;

- 100 лет до н.э. — в течение 500 лет расширение Древним Римом с помощью своих легионов сферы своего господства;

- 1450 г. — изобретение книгопечатания, в связи с чем книги становятся дешевыми и общедоступными;

- 1840 г. — открытие паровой машины, что явилось отправной точкой современного научно-технического прогресса;

- 1957, 1961, 1969 гг. — выход в космос; запуск в космос первого искусственного спутника Земли, а затем человека, первые шаги человека по поверхности Луны.

Как видно из этого перечня (цифры здесь могут быть, естественно, лишь приблизительными, если речь не идет о конкретных открытиях последних веков), само становление человека связано с развитием техники, поскольку даже охота и рыболовство требовали использования примитивных орудий, а следовательно, и накопления и передачи соответствующих знаний от поколения к поколению.

Открытие огня и его целенаправленное использование можно считать началом техники, кардинально изменившим образ существования человека. Не случайно в мифе о титане Прометее, укравшем у богов для людей огонь, говорится, что Прометей научил людей искусствам и ремеслам, земледелию и постройке кораблей, чтению и письму, а также дал им знания, тем самым приравняв их к богам. Однако в буквальном смысле техническое развитие началось с перехода людей от использования к целенаправленному изготовлению орудий своей деятельности.

Первым орудием человека, как подчеркивает германский философ техники Эрнст Капп, была его рука. Она же стала и прообразом первых технических орудий, например каменного молота. Параллельно начали постепенно использоваться природные силы — ветер, вода и огонь — и одомашненные животные в качестве естественных орудий. Создавая технику, человек осознанно или неосознанно копировал природу, в том числе и собственный организм, а затем объяснял с помощью техники устройство природы и себя самого<sup>1</sup>.

Использование и создание орудий у человека носит осознанный характер и закрепляется в особых формах социальной памяти и традиции, а у животного закрепляется эволюционно-биологическим путем. И в том и в другом случае «готовые» природные объекты вначале случайно используются в качестве орудий. Однако «действия жи-

---

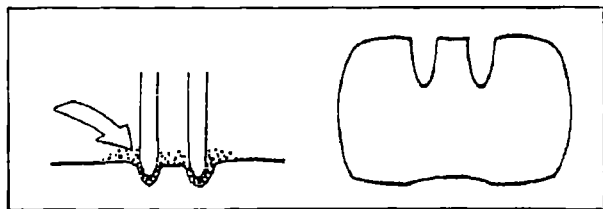
<sup>1</sup> См.: Капп Е. Grundlinien einer Philosophie der Technik. Braunschweig, 1877.

вотного автоматичны и инстинктивны, тогда как человеку доступно настоящее творчество»<sup>2</sup>.

От случайного использования «готовых» природных объектов в качестве орудий человек постепенно переходит к их целенаправленному использованию и их сознательной модификации, образующей в совокупности с созданием орудий впрок (для их возможного использования в будущем) зачатки первобытного производства, процедуры которого закрепляются в социальной памяти первобытного общества (например, в форме мифов или ритуальных действий), передаются из поколения в поколение, дополняются и развиваются, образуя впоследствии систему научных знаний. Постепенно целенаправленное производство орудий превращается в общественную потребность — это решающая стадия перехода к общественному производству.

Например, палка, первоначально используемая в качестве средства деятельности лишь в конкретной ситуации (примитивное использование), после чего ее выбрасывали, стала осознаваться как *средство* деятельности для обобщенной цели. Именно в связи с таким изменением в сознании людей формируются *плановое* приготовление орудий для определенного использования в различных подобных ситуациях, их сохранение, совершенствование и т. д. Тем самым создаются предпосылки для совместного использования орудий, их общественного производства, закрепления в культуре и передачи последующим поколениям не только самих этих орудий, но и опыта их применения и создания, а значит, и возможности их совершенствования. На рис. 20 приведена технология обработки камня в первобытном обществе.

Задача «идентифицировать ранние формы человеческих орудий» в период перехода от животного к человеку «иногда бывает весьма трудной»<sup>3</sup>. В то же время поразительное сходство первобытных орудий,



**Рис. 20. Результат 10-часового сверления камня  
деревянным сверлом с использованием кварцевого песка**

(Рисунок взят из брошюры: *Pfahlbaumuseum Unteruhldingen*.  
*Unteruhldingen, 1994, S. 38.*)

<sup>2</sup> Энгельмейер П. К. Конспект лекций по философии техники. Ч. 1. История техники. Баку, 1922, с. 7.

<sup>3</sup> Holykampf K. Sinnliche Erkenntnis — Historischer Ursprung und gesellschaftliche Funktion der Wahrnehmung. Frankfurt a. M.: Athenaem Verlag GmbH, 1973, S. 110.

найденных на расстоянии тысяч километров друг от друга, доказывает объективность этого процесса<sup>4</sup>. Первобытные орудия многофункциональны и удобны для использования.

Археологи, нашедшие один из таких универсальных инструментов (первобытное зубило), пробовали применить его для разделки туши животного — им потребовалось для этого лишь полчаса. Это доказывает наличие уже в первобытном обществе технических знаний, необходимых для изготовления высококачественных орудий. В течение тысячелетий искусство обработанный камень остается главным и единственным *универсальным* орудием первобытного человека. Подобные орудия не являлись открытием какого-либо одного изобретателя и изготавливались повсеместно. Их многократное копирование и приспособление для удобного использования в каждом последующем поколении, вероятно, сопровождавшиеся невербальными разъяснениями, обусловили их постепенное совершенствование<sup>5</sup>.

Новые формы первобытного ремесленного творчества развиваются очень медленно. Человек является главным орудием для себя самого, а орудие есть, по выражению Э. Каппа, «к самому себе возвращающийся человек». Именно с этого момента человек становится мерой всех вещей, приспособляя к себе природные объекты в качестве орудий и себя к ним. «Орудием орудий», по Каппу, и главным результатом такого рода орудийной деятельности является сама человеческая рука, совершенствующаяся вместе с совершенствованием первых орудий.

## 1. Историко-культурные предпосылки донаучного осмысления технических познаний человечества в древних культурах

Можно выделить, по крайней мере, три уровня осознания техники: развитие «философии техники» как особой философской дисциплины в трудах философов и инженеров конца XIX и XX вв. (высший уровень); научно-рациональное осмысление этой дисциплины; третий уровень далеко не всегда связан с конкретными историческими личностями или науками, а здесь «философия» техники как бы «витает в воздухе», но, тем не менее, определяет отношение к технике и техническому прогрессу в той или иной культурной традиции. Что же представляет собой эта внутренняя *стихийная* саморефлексия над техникой в рамках самой техники? На этот вопрос лучше всего ответить, рассматривая техни-ческое развитие в исторической ретроспективе, тем более что этот уровень осознания техники начал формироваться исторически первым.

Существуют следующие основные этапы развития техники:

• *формирование отношения к миру как к техническому освоению природы и становление Homo faber*: использование «естественных» ору-

<sup>4</sup> Nougier L. - R. Die Welt der Höhlenmenschen. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Taschenbuch Verlag GmbH, 1992. S. 73.

<sup>5</sup> Nougier L. - R. Указ. соч., S. 75, 76.



дий для лучшего приспособления к окружающей среде и случайные, а затем целенаправленные попытки создания первых «искусственных» орудий — *осознание техники как средства защиты от природной стихии*;

- переход человека от охоты и собирательства к примитивному производству (скотоводству и земледелию), аграрная революция, которая означала принципиально новое отношение человека к природе — не приспособление к ней, а *приспособление природной среды к человеческим, общественным нуждам и целенаправленное изменение этой среды* — создание второй, искусственной природы (плановое вмешательство в природу — изменение и приспособление реальности в соответствии с потребностями и интересами человека). Однако это была органическая техника аграрной культуры, или, по определению Курта Шиллинга, *«органический стиль техники»*<sup>6</sup>;

- целенаправленная деятельность по производству орудий как общественная потребность и начало разделения труда, *сознательное создание орудий для производства орудий* (создание «инструментального ящика», т. е. набора инструментов, воспроизводимость опыта создания орудий и воспроизводимость самих орудий).

Стремление к совершенству орудия — это уже начало формирования ремесленной традиции. Этот процесс идет сначала очень медленно. Первые несовершенные сфероиды, найденные археологами, датируются примерно двумя миллионами лет назад, и потребовался почти миллион лет, чтобы они достигли совершенной сферической формы (вероятно, они использовались вместе с длинным кожаным ремнем в качестве своеобразного лассо для раздробления ног диких животных во время охоты). Это был важный этап в становлении человека, технического и ремесленного искусства.

Уже в это время можно зарегистрировать, правда, очень медленный, по современным представлениям, *технический прогресс*. Приведем пример: (1) для производства первобытного зубила с полезной режущей кромкой около 10 см первым ремесленникам (из *Abbeville*) требовался килограмм исходного материала — как правило, кремня; (2) их последователи (из *Acheuleen*) производят зубило, режущая кромка которого достигает уже 40 см; (3) ремесленники последнего ледникового периода (*Mousterien*), используя специальный инвентарь, получают зубило с 2-метровой режущей кромкой; (4) наконец, ремесленники Магдалены (*Magdalenienmensch*), препарируя куски кремня для из-

---

<sup>6</sup> *Schilling K. Philosophie der Technik. Herford, Maximilian Verlag, 1961, S. 69.* «... жизнь древних собирателей и охотников крайне зависела от внешней среды... Это был ... присваивающий тип хозяйствования». В период перехода к скотоводству и земледелию древние селекционеры «на основе частично стихийного отбора, а частично опираясь на изустно передаваемый опыт древних собирателей, провели огромную работу по формированию видового состава культурных растений, на которых поныне основано сельское хозяйство всего мира». То же относится и к «овладению некоторыми сознательными принципами искусственного отбора в животноводстве». (См.: *Воронцов Н. Н. Развитие эволюционных идей в биологии. М.: Прогресс-Традиция, 1999, с. 58, 65.*)

готовления тонких клинков или пластин, получают удивительный результат — от 6 до 20 м режущей кромки.

Исходя из равной массы орудия, результат улучшился в 200 раз. Налицо технический прогресс, притом ускоряющийся: если первый период от второго отделяет около 300 000 лет, а второй от третьего — 50 000, то четвертый период от третьего отделяет лишь 15 000 лет. Количественно ускоряющийся прогресс подкрепляется и качественным прогрессом, так как изготавливаются все более легкие орудия. Кроме того, кремниевое орудие позже прикрепляется к палке из дерева или кости, что позволяет из одного килограмма исходного материала изготовить до 40 м полезной режущей кромки. Этот поворот в технике может быть датирован примерно 11-м тысячелетием. Теперь потребовалось лишь 5000 лет для удвоения коэффициента полезного действия орудий. Технические изобретения оказывают влияние на изменение и самого образа жизни людей. Изобретение костяной иглы, например, произвело подлинную революцию в одежде<sup>7</sup>.

Технический процесс сопровождается аграрной революцией, т. е. переходом от охоты и собирательства к примитивному производству — скотоводству и земледелию, который потребовал создания более совершенных орудий для аграрного производства и развития новой технологии их использования, передаваемой и совершенствуемой из поколения в поколение. Эти орудия и стали основой первого «инструментального ящика», ставшего самым дорогим наследством первобытного крестьянина.

Параллельно начинают развиваться ритуально-магические и мифологические формы осознания и закрепления полученных в ходе технической деятельности знаний для передачи их последующим поколениям и упрощения их воспроизведения современниками. Это своего рода эрзац «научных» знаний в мифологической картине мира и первая предпосылка возникновения науки. Конечно, ни о какой науке в современном смысле слова еще не могло быть и речи, но это был уже явный признак движения человечества в данном направлении.

Одним из признаков нового социально-мифологического осмысления мира является появление могильников. В период палеолита первобытные люди лишь в порядке исключения устраивали подобные погребения в пещерах или защищенных скалистых местах. Появление могильников, по мнению археологов, характеризует следующую стадию (после открытия огня, изготовления орудий и изобретения органической техники) становления человека и предполагает наличие более или менее развитых религиозно-мифологических представлений и верований. Например, отсутствие черепа в одном из таких захоронений может быть объяснено тем, что он использовался в качестве ритуальной чаши во время какого-то магического обряда<sup>8</sup>. О влиянии такого рода представлений и верований в загробную жизнь на развитие тех-

<sup>7</sup> Nougier L. - R. Die Welt der Höhlenmenschen. Reinbek bei Hamburg: Rowohlt Tashchenbuch Verlag GmbH, 1992, S. 85-87, 115.

<sup>8</sup> Nougier L. - R. Указ. соч., S. 88-98.

ники ярко свидетельствует пример Древнего Египта. Сама логика построения пирамид была подчинена культовым целям и представлениям древних египтян о загробной жизни как продолжении земной жизни. Возведение гигантских гробниц, различные изображения на их стенах, определенные ритуалы, мумификация умершего — все это попытки людей обеспечить умершему достойное существование в царстве мертвых, где и сама мумия, и изображения внутри пирамиды становились реальностью загробного мира.

Одновременно с формированием деятельности, направленной на использование и производство орудий, происходит развитие языкового общения. Кроме языка важную коммуникативную роль играли рисунки как специальные семиотические средства для схематизации (закрепления, обобщения, передачи) технического опыта, деятельности по использованию и производству орудий. На основе первобытных рисунков формировались примитивные «иконические» символы с целью закрепления и передачи знаний, в том числе технических. В связи с этим можно говорить о нераздельности возникновения ремесленной техники и искусства, прообразом которого были, в частности, изображения сцен охоты, а также танцев, фиксирующие реальные ситуации.

Постепенно формируются особые социальные, прежде всего мифологические, механизмы накопления и передачи знаний о технике, т. е. воспроизводства и трансляции культуры. Причем мифология выполняет двоякую функцию по отношению к технике — «объяснительную» (учебную) и «проективную», т. е. в мифологическом пространстве отрабатываются жизненные ситуации с целью тренировки, обучения и закрепления технических знаний, а затем создается техника (сначала примитивная) для ритуальных и магических целей. Кроме того, находясь в плену мифологической фантазии, человек зачастую как бы произвольно, а в действительности в соответствии с неписаными канонами мифологического мышления, закладывал основы идеального мира духовных ценностей, а также идеи возможных (в том числе и неосуществимых) технических «проектов». Для мифотворчества не существует ограничений, здесь все возможно — естественные ограничения снимаются, а природные процессы часто рассматриваются как результат деятельности богов. В древних космологических мифах, например, Вселенную «строят», «вытесывают», «плетут», «куют», «ткуют», «лепят» и т. д., что отражает реальные процессы первобытного производства<sup>9</sup>. Такое мыслительное мифологическое действие с разнообразными природными объектами приучает первобытного человека к мыслительным операциям с этими объектами еще до выполнения конкретных технических действий, их имитации в идеальной форме.

В первобытном обществе миф является зародышем проекта, первичной ступенью примитивной «философии» техники как принци-

---

<sup>9</sup> *Топоров В. Н.* Первобытное представление о мире. В кн.: *Очерки истории естественнонаучных знаний в древности.* М.: Наука, 1982, с. 22.

пиально нового, универсального, технического способа освоения природы человеком (приспособление к себе природы) в отличие от отношения к природе со стороны животных (приспособление к природе). Кроме того, миф выполнял в первобытной культуре и ту роль, которую сегодня играет научная картина мира.

Однако миф для первобытного человека был и реальным пространством, в котором он вырос, мыслил и действовал. Сам материал, с которым работал первобытный человек, не был пассивным, и, чтобы подчинить его себе, необходимы были особые ритуальные действия и заклинания, которые человек наследовал зачастую вместе со всем арсеналом орудий и технических приемов от далеких предков.

В качестве примера можно привести процедуру подъема огромных статуй на о-ве Пасхи, которая сопровождалась ритуальными песнями и плясками; секреты подъема статуй передавались, как правило, от поколения к поколению. «Единственными орудиями были три круглые ваги — деревянные бревна ... и множество собранных вокруг валунов и камней... Лицо фигуры было зарыто в землю, но людям старосты удалось подвести под него концы бревен. Три-четыре человека повисли на других их концах, а староста лег плашмя на живот и стал засовывать под голову фигуры маленькие камешки. Когда одиннадцать парней с силой нажали на концы бревен, нам казалось, что фигура немного дрожит или чуть-чуть двигается, но вообще-то ничего как будто не менялось, только камешки становились крупнее... Когда наступил вечер, голова великана приподнялась над землей на целый метр, а образовавшееся пространство было плотно набито камнями... На девятый день работы гигант лежал на животе на вершухе тщательно выложенной башни, высота которой достигала трех с половиной метров от земли... На одиннадцатый день они начали переводить великана в стоячее положение, для чего вновь стали наращивать каменную горку, на этот раз под лицом, подбородком, грудью... На семнадцатый день среди длинноухих появилась старая морщинистая женщина. Вместе со старостой она выложила перед статуей на огромной плите, где предстояло водрузиться гиганту, полукруг из мелких камней. Это была чистая магия... староста обвязал вокруг веревку и привязал ее растяжками к кольям, вбитым в землю с четырех сторон. И вот наступил восемнадцатый день работы. Одни начали тянуть веревку к берегу, часть людей притормаживала за другую, третьи осторожно подталкивали фигуру бревном. Внезапно гигант начал явно шевелиться. ... Гигант поднялся во весь свой могучий рост и начал опрокидываться, башня осталась без противовеса, камни и огромные глыбы с шумом посыпались вниз... Но колосс спокойно покачался в стоящем положении и так и остался стоять...»<sup>10</sup>. С точки зрения первобытного человека, эти фигуры двигались как бы сами собой в результате магических действий, сопровождающих технические процедуры, и именно эти магические действия в пространстве мифа оказываются для первобытного человека главными, без которых никакое техническое действие невозможно.

Сознательное производство орудий, особенно орудий для производства орудий предполагает также становление и совершенствование этого вида деятельности, плановое вмешательство в природу (изменение реальности) в соответствии с потребностями и интересами человека. Существование и пополнение возникших в данной культуре различных орудий (своего рода инструментария, арсенала орудий,

---

<sup>10</sup> Хейердал Т. Аку-Аку. М., 1959, с. 141–148 (пример взят из книги: Горохов В.Г., Розин В.М. Введение в философию техники. М.: ИНФРА-М, 1997).

«инструментального ящика»), использующихся для различных обобщенных целей, является первым следствием такого рода деятельности. Изобретение орудий, их совершенствование в процессе деятельности, накопление опыта производства, создание специализированных орудий и универсализация их использования все более способствуют активизации создания новых орудий или их новых поколений. Воспроизводимость опыта создания орудий и воспроизводимость самих орудий, передача этого опыта последующим поколениям — одна из главнейших черт технического прогресса общества, вследствие которого произошло разделение труда в первобытном обществе — формирование слоев ремесленников, занятых определенной деятельностью: производством сельскохозяйственных и других орудий, оружия, производством одежды, строительством жилищ и хозяйственных помещений, средств передвижения, оросительных каналов, культовым строительством и т. п., т. е. созданием усовершенствованной, приспособленной для людей окружающей среды (освоенной человеком природы). Этот прогресс означал, в первую очередь, освоение новых материалов (камень, кость, дерево, металлы и т. д.), организацию производства исходного материала, подлежащего последующей обработке, что, в свою очередь, способствовало разделению самого ремесленного труда, развитие кооперации и координации в процессе деятельности вообще и технической деятельности в частности. В особенности этому способствовало развитие городской культуры. «Всякая работа является деятельностью, но только сознательная деятельность является работой. Животное не работает ..., — пишет первый философ техники Э. Капп. — Разделение труда, сознательная профессиональная работа представляют собой то, что делают исторические государства и является уже историей»<sup>11</sup>.

Основными достижениями этого периода были развитие первобытной техники, техническое освоение природы, в ходе которого накапливались, конечно, не только технические рецептурные знания, но и предпосылки для естественнонаучных знаний и представлений, хотя и в специфической мифологической форме. Сформированная целостная мифологическая картина мира стала основой как религиозно-мифологических представлений различных древних цивилизаций, так и будущих натурфилософских систем. «К концу палеолита представления о природе не ограничивались обширным кругом точных эмпирических знаний; было достигнуто, по-видимому, нечто большее: сформировалась идея Вселенной как единого целого — семеричная «модель мира» с 3 вертикальными и 4 горизонтальными делениями, выделились 4 стихии, сходные с «первозементами» древнегреческих космологических концепций (вода, земля, воздух, огонь) — подлинная сложная предыстория науки, множеством корней питавшая ее дальнейший рост, ее историю»<sup>12</sup>.

<sup>11</sup> Капп Е. Grundlinien einer Philosophie der Technik. Düsseldorf, 1978, S. 34.

<sup>12</sup> Фролов П. А. Астральные мифы и рисунки. В кн.: Очерки истории естественнонаучных знаний в древности. М.: Наука, 1982, с. 57.

## 2. Различные «философии» техники в разных культурных традициях и их следствия для технического развития

В самом общем виде можно выделить два основных пути осознания техники в древних культурах при неразделимости религии, техники и искусства:

(1) стремление к гармонии общества и природы в Древней Индии, идеи поддержания существующего общественного и природного порядка и практическая техника в Древнем Китае;

(2) путь агрессии в Египте и Месопотамии, т. е. «война» с природой (нападение на нее) с целью завладеть ее богатствами, формирование мифа о машине (социальный организм как мегамашина).

(1) Стремление к гармонии с природой и поддержанию равновесия природы и общества характерно для *древнеиндийской культуры*, что в значительной степени обусловлено социокультурными особенностями древнеиндийского общества. По свидетельству исследователей, изучение социально-политической истории древнейшей Индии в силу противоречивости дошедших до нас сведений и неоднозначности датировки исторических событий является задачей не только сложной, но часто и вообще неразрешимой. Например, касты как замкнутые социальные группы, наличие которых характерно для индийского общества, еще не существовали в застывшем виде в древние времена. Они назывались варнами и не были еще такими замкнутыми, как в более позднее время.

Существуют различные теории происхождения варн: как следствие арийских завоеваний; как следствие разложения первобытного общества и специализации родов в выполнении определенных обязанностей в обществе<sup>13</sup>. Однако независимо от своего происхождения варны в древнеиндийском обществе делились на основные четыре сословия: первые три из них — брахманы, кшатрии и вайшьи — занимают привилегированное положение в обществе, а четвертое — шудры, — фактически равносильное рабам, не могло занимать ответственных должностей в государственном управлении. Основную массу полноправных свободных людей составляли вайшьи — земледельцы, скотоводы, торговцы, которые были самостоятельны в экономическом отношении, владели землей, платили подати и составляли ополчение пехоты в военное время. Однако военная защита и управление государством являлись основной социальной функцией другого сословия — варны кшатриев, хорошо вооруженных, специально обученных и сражавшихся на колесницах и слонах. Пехотинцы играли вспомогательную роль. Наиболее привилегированное положение в обществе занимали брахманы, знающие священное учение, исполняющие функции жрецов и ответственные за отправление культовых обрядов.

Первым периодом жизни представителей трех названных высших варн было ученичество. Они проходили особый обряд посвящения,

<sup>13</sup> Myllius K. Zur Entstehung von varna-System und Kastenwesen. In: Zeitschrift für Ethnologie. Bd 90, 1965, S. 260–264.

который приравнивался ко второму рождению, что соответствует обряду инициации, т. е. формальному приему в полноправные члены общины, поэтому им присваивался титул «дважды рожденные». Этот обряд, который был довольно простым, заключался в надевании на шею специально сплетенного шнура, сделанного для каждой варны из разного материала, и совершался не после, а до периода ученичества, давая формальное разрешение на него.

Второй период жизни был отпущен для отправления основной социальной функции, для которой было предназначено данное сословие: вайшьи должны были заниматься торговлей, земледелием и скотоводством, кшатрии — управлением государством и ведением военных действий, а брахманы — религиозно-культурной деятельностью. Все они могли обзавестись семьей и вести домашнее хозяйство.

После того как исполнение соответствующих социальных функций было налажено и члены семьи обеспечены, достигший преклонного возраста благочестивый индеец должен был удалиться в джунгли и сделаться отшельником. В этом периоде жизни надо было предаваться размышлениям и изучать Веды, т. е. получать особого рода знание, прежде всего мистическое, достигаемое медитацией и имеющее целью освобождение души от бесконечной цепи рождений и смертей. Здесь нужны были особые усилия духовного познания, поэтому рациональное познание вещей, находящихся вне человека, посредством рассуждения и опыта, характерное для западноевропейской культуры, было бесполезным и неразвитым. Большое значение придавалось аскетизму, ведущему к достижению высшей силы духа и божественного могущества.

В последней фазе жизни «дважды рожденный» становился бродячим аскетом, отделенным не только от общества, но и от сообщества отшельников. На этой стадии человек как бы сливался с природой, чувствуя приближение конца жизни. Подобно животным, предчувствующим грядущие природные катаклизмы, аскеты могли вещать о них отшельникам, возвращающим их с помощью специальных приемов к человеческому облику, естественным образом регулируя взаимодействие общества и природы.

В Индии «чрезвычайно рано возникает профессионализация умственного труда, и каждый профессионал в этой области начинает свое обучение с заучивания наизусть ритмически организованных текстов Вед и Упанишад. С древнейших времен ... оформление духовной культуры в Индии было специальным делом, профессией членов жреческой варны брахманов, и лишь иногда к этому делу оказывались причастны члены правящей варны кшатриев; чей ум, благодаря воспитанию, работал в заданных брахманской культурой рамках. А каждый «брахман при рождении родился с тройным долгом: ученичества по отношению к риши (провидцу, мудрецу, учителю), жертвоприношения по отношению к богам, потомства по отношению к предкам» (Яджурведа, VI, 3.10). Процесс обучения у риши заключался в передаче традиционных знаний, прежде всего тех, которые содержатся в Ведах и Упанишадах, и благодаря этому первые памятники духовного

освоения мира своим идейным и образно-эстетическим строем входили в мышление, определяли пути его развития, задавая проблематику и способы выражения»<sup>14</sup>.

Религия играла огромную роль в жизни древнего индийца. Обрядовые действия и жертвоприношения рассматривались им как условие предотвращения неприятностей, могущих возникнуть со стороны как естественных, так и сверхъестественных сил. Его производственно-практическая деятельность должна была сопровождаться совершением магических ритуалов и произнесением заклинаний. Большое значение придавалось не только выбору заклинаний, но и способу их произнесения. Любая ошибка рассматривалась как нежелательное нарушение обряда, поэтому сохраняемое вечно священное слово должно было быть точно заучено с помощью определенных приемов. Жертвоприношение также рассматривалось как самостоятельная магическая сила, влияющая на судьбы людей, и основа мироздания. Даже сотворение мира в ряде мифов связывается с первичным жертвоприношением. Жертвенная практика в качестве сакрального акта имитирует процессы природы и даже обуславливает их<sup>15</sup>. «Прежде всего метафизической предпосылкой этой системы является видение мира как нуждающегося в постоянном делании и поддержании хода событий посредством ритуальных действий. Что-либо может происходить постоянно только потому, что жрецы постоянно совершают ритуальные действия. Жрец осознает себя поддерживающим без изменений год, времена года, атмосферу и землю, весь мир и все, происходящее в нем. Мир возникает на глазах жрецов непосредственно в ходе жертвоприношения. Жрецу нельзя отступать ни на шаг от детально расписанного образа действия, нельзя вставить лишнее слово, поскольку могущественный эффект жертвоприношения вызывается не смыслом слов и действий, но их формой. Невежественный, т. е. лишенный детальнейших знаний жрец будет в ритуале подобен стихийному бедствию, постоянно разрушая космос, принеся в жертву и самого себя»<sup>16</sup>.

В этой слитности естественного и искусственного, природного и сверхъестественного и состояла особенность мифологического мышления. Мифология в данном случае выступает как способ осознания и организации (упорядочения) мира. В сознании человека-деятеля этого времени органически соединяются в единое целое практические процедуры деятельности по использованию и производству орудий с магически-ритуальными действиями. В таком случае любая техническая операция наполнялась выходящим за пределы простого прагматического действия смыслом.

Таким смыслом наполнена, например, приведенная в первой книге «Махабхараты» процедура «пахтания океана», необходимая богам

---

<sup>14</sup> Молодцова Е. Н. Естественнонаучные представления эпохи Вед и Упанишад. В кн.: Очерки истории естественнонаучных знаний в древности. М.: Наука, 1982, с. 131.

<sup>15</sup> Бонгард-Левин Г. М., Ильин Г. Ф. Индия в древности. М., 1985, с. 146–157, 162–191.

<sup>16</sup> Молодцова Е. Н. Указ. соч., с. 137, 141.



для получения напитка бессмертия — амриты. В древнеиндийских текстах трудно найти подробное и рациональное описание конкретных видов технической деятельности. (Возможно, это связано с тем, что ручная работа вызывала презрение, как содержащая «нечистый» элемент, шудра-элемент. Например, арий — этим понятием зачастую обозначаются высшие касты древнеиндийского общества в отличие от низшей, к которой принадлежали шудры, — не мог быть горшечником — именно поэтому, вероятно, брахманам запрещалось пить из глиняных сосудов)<sup>17</sup>. Древний человек не просто осуществлял конкретные операции над исходным материалом, преобразуя его в конечный продукт, но и совершал целый ряд ритуальных действий, тесно связанных посредством мифологии с космическими процессами, религиозными представлениями и верованиями, воспринимаемыми им как единое целое. Поэтому приводимое описание указанной процедуры объединяет в себе реальные природные процессы и мифологические образы, рациональные моменты и иррациональные переживания, искусственные орудия и естественные объекты, безжизненное и одухотворенное, богов и людей.

Для получения амриты боги решили вместо веревки «взять царя змей Васуки, а мутовкой сделать гору Мандара. С горой Мандара и змеем Васуки боги пришли к Океану и просили у него позволения сбить его воды, чтобы получить амриту. Владыка вод дал им согласие, но за это попросил долю амриты и для себя.

Царя черепах, того, что держит мир на своей спине, боги и асурры попросили спуститься на дно океана, чтобы послужить опорой для горы Мандара — из мутовки. Исполинская черепаха согласилась на их просьбу. Она подставила спину, и боги вместе с асурами водрузили на нее подножие Мандары, а вокруг той горы обернули змея Васуки, как веревку. И асурры ухватились за голову великого змея, а боги — за хвост и начали пахтать океан ради амриты, и длилось то пахтание много сотен лет.

Асурры и боги попеременно тянули рывками к себе тело змея, и при каждом рывке из пасти его вырывались дым и пламя; огонь изнурял демонов жаром, лишая их сил, а дым собирался в сверкающие молниями тучи, которые ползли вдоль тела змея к его хвосту и поливали на богов освежающие дожди.

С великим шумом, подобным грому, вращалась гора Мандара, и с ее вершины и склонов низвергались в воды океана, сталкивались в полете огромные деревья с гнездящимися на них птицами и населявшие горные леса звери. И вершина и склоны горы окутались пламенем, возникшим от трения, и в том пламени гибли деревья и травы, звери и птицы. Потом дожди погасили пожар, и соки деревьев и трав, росших на горе Мандара, излились в океан, чтобы придать амрите ее целебную силу.

Без устали вращали мутовку асурры, опалемые пламенем, и боги, освежаемые ливнями из туч. Сначала воды океана, смешанные с соками трав и деревьев, превратились в молоко, потом молоко стало сбиваться в масло. Но амрита все не появлялась ... И наконец, вышел из моря бог врачевания и исцеления, неся в руках драгоценную чашу с напитком бессмертия — амритой. ... Но вслед за этими сокровищами, появившимися из морских вод, когда пахтание уже подходило к концу, возник на поверхности океана страшный яд калакута. Он отравлял миры своими испарениями и грозил сжечь Вселенную. Боги, и асурры, и все живые существа пришли в смятение и воззвали о

<sup>17</sup> Rau W. Staat und Gesellschaft in alten Indien. Wiesbaden: Otto Harrassowitz, 1957, S. 19.

спасении к великому богу Шиве. И ради спасения Вселенной Шива проглотил губительный яд»<sup>18</sup>.

Приведенное описание характерно для мифологического сознания. В нем сочетаются рецептура конкретных операций, проводимых применительно к реальным природным объектам с космическими процессами. Возможно, это описание отражает какие-то реальные процедуры изготовления лекарств. Здесь даже отмечаются побочные вредные продукты, появляющиеся после выполнения процедуры, требующие устранения.

Естественные объекты одновременно являются искусственными орудиями и персонифицированы. «В сфере этого всеобъемлющего делания в качестве метаправила любого представления господствует универсальный антропоморфизм. Поведение всякого предмета в ритуале подчиняется тем же законам, что и поведение человека. Так, например, жертвенная лепешка может согласиться на просьбу стать твердой ради Агни, но никак не ради Брихаспати и Вишвадевов — она капризна и обладает правом выбора. Все предметы, участвующие в ритуале, оказываются символами каких-то других предметов, и все операции с предметами в ритуале есть операции с символами, совершающимися по установленным правилам и имеющие значение для тех реальных предметов, символами которых они являются. жертвоприношение коня моделирует практически уже весь космос, так как каждой части жертвенного животного ставится в соответствие какой-либо мировой феномен»<sup>19</sup>.

При этом древний человек осуществлял не только конкретные операции, поддающиеся рациональному описанию, но и ритуальные действия, значение которых может быть понято лишь в рамках существовавшей тогда мифологической картины мира. Орудия деятельности и материал не воспринимались древним человеком лишь как пассивные исполнители его воли. Любой процесс рассматривается не как простое одностороннее воздействие субъекта на пассивный материал (объект), а как взаимодействие. Миф, как уже говорилось, для первобытного человека был тем реальным пространством, в котором он мыслит и действовал.

До возникновения любой науки появляются элементы преднаучных знаний, вплетенные в религиозно-мифологическую картину мира. Что же касается развития зачатков естественнонаучных знаний в Древней Индии, то следует иметь в виду, что там «никогда серьезно не предпринимались усилия исследовать какие-либо природные законы», поэтому о естествознании не могло идти и речи. С точки зрения господствовавшего там религиозного учения о переселении душ, прохождении их через множество рождений и смертей существенной

---

<sup>18</sup> Темкин Э.Н., Эрман В.Г. Мифы Древней Индии. М.: Наука, 1982, с. 64–65.

<sup>19</sup> Молодцова Е.Н. Естественнонаучные представления эпохи Вед и Упанишад. В кн.: Очерки истории естественнонаучных знаний в древности. М.: Наука, 1982, с. 137–139.

являлась лишь духовная составляющая, а не ее случайная телесность. Основное внимание мыслители уделяли внутреннему духовному миру, а внешняя природная реальность рассматривалась ими как мир кажимости<sup>20</sup>. Знание выступает не как видение или воспроизведение, а создается в процессе мышления; «напряженная психика, акт думания осознается как могучее творящее начало вода подумала: «Да стану я многочисленной, да вырасту я!» Она сотворила пищу. Поэтому, где бы ни шел дождь, там бывает обильная пища»...<sup>21</sup> Таким образом, и сама природа уподобляется духовному миру. Человек вписан в космос и един с ним, а управляя своей психикой, жрец воздействует и на внешний мир, настолько же духовный, как и мир внутренний. Знание, которым он обладает, «существует как нерасчлененное единство психофизического ... Собственно говоря, человек един с миром настолько, что «свет, который сияет над этим небом, над всем, над каждым, в непревзойденных высших мирах, поистине он и есть тот свет, который находится в этом человеке. Его видно, когда прикосновением ощущают тепло тела. Его слышно, когда, заткнув уши, слышат нечто, словно гул, словно гудение, словно шум пылающего огня».<sup>22</sup> Поэтому главную роль в области приобретаемых знаний играют, в конечном счете, не знания о внешнем мире, которым можно обучиться у любого учителя (искусство предсказаний, хронология, правила почитания предков, правила поведения, знания о демонах, военном искусстве, змеях, низших божествах и т. п.), а те знания, которые каждый учитель предлагает не как готовые, а как создающиеся в процессе мышления. «Так что весьма характерно для этого корпуса знаний следующее утверждение: «Если даже многознающий лишен мысли, то о нем говорят: «Он — ничто, хоть и знает много. Ведь, поистине, если бы он действительно знал, то не был бы до такой степени лишен мысли». И напротив, если малознающий наделен мыслью, то его желают слушать»<sup>23</sup>.

*Древний Китай* по праву называют страной изобретений. Многие его изобретения, например компас, порох, шелк, бумага, глазурь, фарфор и др., перешли в западноевропейскую культуру. Компас — одно из старейших китайских изобретений — первоначально использовался при строительстве домов в городах с целью привести их в единство с природой; позднее он стал применяться в навигации. В VI в. до н.э. в Китае была разработана методика чугунного литья с использованием силы воды. Оригинальную конструкцию имеет регистратор землетрясений, изобретенный в 132 г. н.э.: внутри бронзового

---

<sup>20</sup> *Orthbandt E. Geschichte grossen Philosophen und des philosophischen Denkens. Hanau: Verlag Werner Dausien, 1995, S.68.* О развитии элементов научных знаний в Индии см.: *Володарский А.И. Отдельные отрасли науки в древней Индии. В кн.: Очерки истории естественных наук в древности. М.: Наука, 1982.*

<sup>21</sup> *Молодцова Е.Н. Указ. соч., с. 145.*

<sup>22</sup> Там же, с. 154, 149.

<sup>23</sup> Там же, с. 143.

сосуда помещается маятник, на внешней стороне сосуда расположены головы драконов, в пасть которых зажаты бронзовые шарики, а под ними лягушки с открытыми ртами. Во время землетрясений сосуд колеблется сильнее маятника, при этом наиболее удаленный от эпицентра землетрясения дракон открывает пасть, и бронзовый шарик попадает в открытый рот лягушки. Астрономические часы, построенные между 1088 и 1092 гг. н.э., показывали не только время, но и движение планет. Часы были связаны с водяным колесом. Это изобретение сыграло важную роль при более позднем изобретении механических часов <sup>24</sup>.

В то же время в Древнем Китае наука и техника никогда не были столь развиты, как в западноевропейских странах. В связи с этим американский философ науки С. Тулмин задается вопросом, почему в Китае не возникла и не могла возникнуть астрофизика как самостоятельная дисциплина, хотя китайцы имели обширные эмпирические познания о звездном небе и планетах <sup>25</sup>. С научной точки зрения ответ заключается в том, что, как упоминалось, в Китае не было своего Евклида и геометрия в этой стране никогда не занимала такого независимого теоретического положения, как в классической Греции, оставаясь эмпирической наукой практических правил. С социологической же точки зрения, как отмечает Тулмин, ответ выглядит следующим образом. Китайский император как царь философов преследовал конфуцианские, а не платоновы цели, т. е. цели не духовного обновления, а сохранения морального порядка на Земле. Этим целям никак не могли служить спекуляции математической астрономии. Социальный консерватизм приводил к духовному консерватизму, поэтому в Древнем Китае никак не могла возникнуть наука как социальный институт. В Древней Греции, напротив, были развиты соответствующие социальные институты (например, Академия Платона и аналогичные ей социальные институты, поддерживающие реальную «академическую свободу» и духовные нововведения) и традиции, без которых ни логика, ни философия, ни математика, ни естествознание не могли бы возникнуть. Без этого, считает Тулмин, западная культура, весьма вероятно, пошла бы по пути исламской или древнекитайской культуры.

Джозеф Нидам <sup>26</sup>, исследователь особенностей развития науки и техники в Древнем Китае, подчеркивает, что в этой стране существовали два философских направления — конфуцианство и даосизм, ориентированные, соответственно, на социальные нужды и на изучение природы. Несомненный приоритет в качестве государственной идеологии имело конфуцианство. Оба эти направления, впрочем, были неинтервенционалистскими, ориентированными на поддержание существующего изначального порядка и гармонии в обществе и природе.

---

<sup>24</sup> CHINA: 2000 Jahre Geschichte — vom Bau der Grolen Mauer bis zum letzten Kaiser. Hildesheim: Gestenberg Verlag, 1995, S. 22.

<sup>25</sup> *Toulmin S.* Kritik der kollektiven Vernunft. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1983, S. 255–259.

<sup>26</sup> *Needam J.* Wissenschaftlicher Universalismus. Über Bedeutung und Besonderheit der chinesischen Wissenschaft. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1977.

Даосисты, например, утверждали, что природа должна быть представлена самой себе, естественному ходу вещей, и учили человека приспособляться к универсуму — им не приходила в голову мысль о возможности приспособить универсум к человеку, подчинить его себе.

Консервативно-традиционалистское отношение к обществу со стороны конфуцианских философов, бывших советниками феодальных князей, можно проиллюстрировать следующим образом. Конфуций во время одного из путешествий тщетно пытался найти брод через реку для своей повозки. Тогда он послал своих учеников к местным жителям узнать, где же находится брод. Жители на это ответили: «Если ваш господин такой мудрый, каким его считают, и знает все, то он должен сам знать, где находится брод». Выслушав такой ответ, Конфуций заметил: «Как мы можем реформировать общество, если мы не можем жить даже с нашими ближними? Если общество таково, каким оно должно быть, то незачем его изменять».

Нидам сравнивает даосистов с первыми древнегреческими натурфилософами. Однако последние жили в условиях, когда в обществе была развита торговля и господствовали демократические, а не феодально-бюрократические тенденции. В то же время в Древнем Китае никогда не было рабства. Нидам объясняет это изобретением китайцами специальной повозки, позволяющей перемещать большие грузы, которой не было ни в Древнем Египте, ни в Древней Греции, ни в Древнем Риме — в противном случае не понадобилась бы такая масса рабов для перемещения грузов. Китайская повозка была раза в три—четыре больше европейских повозок, на ней умещалось до 6—7 человек одновременно.

Тачка, изобретенная в Китае между 221 г. до н.э. и 265 г. н.э., позволяла одному человеку транспортировать тяжелые грузы. Чем длиннее у тачки, которую называли «деревянный бык», ручки, тем меньше усилий требовалось для передвижения грузов. Часто для облегчения работы на тачку устанавливали парус и использовали силу ветра. Скорее всего, подобное изобретение не было важным для рабовладельческого общества, где рабский труд ценился даже меньше труда животных.

Научные знания в Китае развиваются под влиянием философской мысли, и в VI—III вв. до н.э. началось формирование различных наук. Практические нужды также были причиной возникновения научных задач, которые зачастую решались аналогичными методами, хотя и в разной форме. «Учение Конфуция, создавшего культ знаний и образованности, почитавшего гармонию и музыку, в математике отразилось в том, что производились расчеты музыкальной гаммы, которые потребовали от ученых хорошего освоения числовой области в пределах рационального числа. Учение о Дао стимулировало познавать природу абстрактных понятий, используемых в математике. Логика из школы Мо-цзы и софисты побуждали осмысливать тонкие и спорные места в исследованиях понятий новой природы, таких, как квадратура круга, бесконечные дроби, вычисление объема пирамиды, шара, которые были связаны с понятием бесконечности. Натурфилософские поиски объяснения движения, изменения природы

вещей находили применение в развитии теоретико-числовых проблем: учение о четных и нечетных, положительные и отрицательные числа, круг и прямоугольник и т. п.»<sup>27</sup>. Движение от мифа к рациональному мышлению было общей тенденцией, приведшей к развитию научного знания. Однако особенности социально-культурного и философского развития наложили отпечаток на концептуальные структуры нарождающейся науки, отличные, например, от древнегреческой философии и науки, составляющей основу современной западноевропейской научно-технической традиции. Эти особенности сегодня часто вызывают интерес и становятся источником новых идей в современных областях науки, поэтому обращение к истокам и основаниям научных и технических знаний древних цивилизаций имеет огромное значение и для осмысления тенденций, и для актуального развития новейших областей науки и техники.

(2) Иной — агрессивный — подход к овладению природой с помощью организованной человеческой техники характерен для древне-вавилонской, древнеегипетской, ассирийской и других культур Египта и Месопотамии, что выразилось прежде всего в создании тоталитарной военной «машины». В соответствии с этим подходом, если в окружающей природе нечто отсутствует, это можно было создать искусственно, например висячие «сады Семирамиды», причисленные вместе с египетскими пирамидами к семи чудесам света. Согласно одной из древних историй Амитис, любимая жена ассирийского царя Навуходонассора, так тосковала по своей родине, изобиловавшей горами, что царь повелел создать для нее искусственную гору с висячими садами. Нет ничего невозможного для всемогущих правителей — им подчиняются люди и сама природа. Другой ассирийский царь Ассаргадон повелел сделать такую надпись на статуе: «Я — могуч, я — всемогущ, я — герой, я — гигант, я — колосс»<sup>28</sup>. Значительно позже персидский царь Дарий повелел наказать море палочными ударами за то, что оно разрушило построенный его инженерами мост через Дарданельский пролив — воистину повелителям людей должна покоряться и сама природа. Этот агрессивный путь развития техники часто отождествляется с самой ее сущностью. Например, русский инженер и философ техники П.К. Энгельмейер следующим образом характеризовал технику: «Техника есть самое могущественное из орудий человечества в его вековой борьбе за существование, — оружие, обеспечивающее господство человека над природой и животными, а также преобладание народов культурных над дикарями ... техника есть прежде всего действительность, агрессивное вмешательство в жизнь природы ...»<sup>29</sup>.

<sup>27</sup> Березкина Э.И. О зарождении естественнонаучных знаний в древнем Китае. В кн.: Очерки истории естественнонаучных знаний в древности. М.: Наука, 1982.

<sup>28</sup> *Sprague de Camp L.* Ingenieure der Antike. Dfsseldorf / Wien: Econ Verlag, 1964, S. 85, 79.

<sup>29</sup> Энгельмейер П.К. Техника как фактор современной культуры // Мир божий, 1900, № 7, с. 81–82; Энгельмейер П.К. Конспект лекций по философии техники. Ч. I. История техники. Баку, 1922, с. 16.

Знания шумеров и вавилонян об окружающем их мире были обусловлены практической необходимостью. Большинство ремесленных приемов, навыков и рецептов передавались от поколения к поколению главным образом в устной форме. Однако уже в это время возникает традиция письменного закрепления и первичной систематизации знаний, полученных на практике. Усвоение знаний в основном сводилось к переписке и заучиванию перечней, списков, таблиц и т. д. Письменно фиксировавшиеся знания вавилонян были донаучными, поскольку основывались лишь на внешнем описании и классификации. Прimitивные расчеты были преимущественно приходно-расходными и арифметическими, развитие геометрических средств сводилось к применению практически выработанных традицией искусственных приемов. Первые измерительные инструменты предназначались для повседневного использования и были опосредованы религиозно-практическими целями и представлениями, например измерение времени и создание календаря для религиозных (регулирование жертвоприношений) и сельскохозяйственных нужд. Большое значение имело также изобретение и использование колеса, о чем свидетельствуют клинописные таблички, относящиеся примерно к 1200 г. до н.э.

Одно из важнейших технических достижений египтян и народов Двуречья — создание системы оросительного земледелия, т. е. строительство дамб и каналов, системы распределения и регулирования воды, а также развитие способов фиксации и воспроизведения границ отдельных земельных владений. Важным было не только создание этой системы, но и ее постоянное поддержание и обновление. Законы Хамурапи (около 1700 г. до н.э.) регулировали этот порядок, поскольку один и тот же канал обслуживали несколько владельцев. Не случайно одним из наиболее распространенных проклятий было: «Чтоб у тебя засыпало песком канал». О том, насколько страшной была эта угроза для тогдашних жителей, свидетельствует история. Когда монголы в 1258 г. н.э. захватили эти территории, действовавшая почти бесперебойно в течение 4000 лет система орошения быстро пришла в упадок. Пустыня и болота захватили все это некогда плодородное пространство, люди стали вымирать от голода, и местность опустела<sup>30</sup>.

Особые природные условия Месопотамии — жаркий климат и отсутствие строительного дерева — заставляли жившие там народы использовать иные строительные материалы, т. е. глину, которую замешивали с соломой и после придания прямоугольной формы высушивали на солнце. Это был недостаточно водостойкий, но дешевый материал. Внешние и внутренние стены дворцов и храмов выкладывались обожженной глиной, что придавало им необходимую прочность, но ввиду недостатка горючих материалов это было весьма дорогим удовольствием.

Культовые сооружения Месопотамии — Зиккураты («гора бога» или «небесная гора») — представляли собой ступенчатые строения, на

---

<sup>30</sup> Энгельмейер П.К. Указ. соч., с. 67.

вершине которых находилось святилище. Они были дворцами бога, служители которого занимали не меньший ранг в тогдашнем обществе, чем царские чиновники. Это один из ярких примеров того, как древние народы обустроивали жизненное пространство в соответствии со своими религиозно-мифологическими представлениями, уходящими корнями в далекое прошлое. Шумеры, по утверждению Леонарда Вулли, были переселившимся в междуречье горным народом, и боги, а следовательно, и святилища богов, на их прародине должны были располагаться «на вершинах гор». На юге Месопотамии горы отсутствовали — значит следовало изменить окружающую среду в соответствии с традиционными представлениями. Миф здесь отчетливо играет роль «проекта»<sup>31</sup>.

Сегодня трудно сказать, как еще использовались Зиккураты — весьма вероятно, что в астрономических целях, которые наверняка носили отчетливый культовый, а не научный в современном понимании характер. Это отнюдь не означает, что знания, полученные древними шумерами, вавилонянами и другими народами Междуречья, не стали основой научных познаний человечества — наоборот, они были пересмыслены и систематизированы позднее древними греками и без них невозможно было бы создать стройную систему научных знаний. Однако важно отдавать себе отчет в том, что эти первоначальные знания носили эмпирический, религиозный и практически-культовый характер. Например, удивительным месопотамским изобретением были мощные дороги из известковых плит с подложкой из плоского кирпича, скрепленного смесью известняка, песка и асфальта. Но эти мостовые предназначались в первую очередь для передвижения процессий с повозкой, на которой была установлена статуя бога. Точно так же и колесо было, вероятнее всего, по свидетельству французского историка и философа техники Эспинаса<sup>32</sup>, изобретено в качестве ритуального колеса, используемого в восточных храмах, а восковая свеча была изобретена этрусками первоначально в качестве религиозной принадлежности, а вовсе не для целей освещения<sup>33</sup>.

Знания шумеров и вавилонян были обусловлены практической необходимостью. Обучение писцов и жрецов сводилось часто лишь к зазубриванию «терминологических списков, рецептов, задач»; в форме перечней, таблиц, казусов составлялись и пособия к обучению зачаткам наук. «Оканчивающий учение писец должен был уметь устно и

---

<sup>31</sup> Woolley L. Vor 5000 Jahren. Ausgrabungen von Ur (Chaldea). Geschichte und Leben der Sumerer. Stuttgart, 1928, S. 86. Вулли Л. Забытое царство. М.: Наука, 1986.

<sup>32</sup> Альфред Эспинас, который наряду с Э. Каппом является одним из первых философов техники, изложил эту точку зрения в своей книге «Возникновение технологии» («Les origines de la technologie») — сборнике его работ, опубликованных с 1890 г. Перевод его отдельных глав дан в книге «Роль орудий в развитии человечества» (М.: Прибой, 1925).

<sup>33</sup> Sprague de Camp L. Ingenieure der Antike. Düsseldorf/Wien: Econ Verlag, 1964, S. 199.



письменно переводить с шумерского<sup>34</sup> на аккадский и наоборот, знать наизусть шумерские писцовые и грамматические термины и шумерское словоизменение (спряжение и склонение), знать шумерское произношение, шумерские эквиваленты любых аккадских слов, различные виды каллиграфии и тайнописи — технический язык различных жреческих и других профессий, категории культовых песнопений, должен был уметь руководить хором и пользоваться музыкальными инструментами, уметь составить, завернуть в глиняный конверт и опечатать юридический или хозяйственный документ любого рода, знать математику, включая землемерную практику, уметь подсчитать и распределить рационы для работников, знать различные нормы расходования материалов и продуктов, уметь вычислить объем землякопных работ и т. п. За время курса молодые писцы должны были прочесть довольно много дидактических и литературно-религиозных текстов и даже выучить их канонический список. Но настоящие мудрецы знали и много других вещей, никакого практического значения не имевших, в том числе, например, собрания изречений, часто весьма темных и неоднозначных»<sup>35</sup>. Таким образом, знания были, по сути, практико-методическими и рецептурно-техническими, т. е., как уже говорилось, донаучными, поскольку были основаны лишь на внешнем описании и классификации.

Первоначально развивались эзотерические формы накопления, сохранения и передачи знаний. Знание было тайной и силой господства избранных над обществом и природой при ориентации на сохранение и воспроизведение традиций. Создание пирамид, например, основывалось на традиции, в течение многих веков выработанной культовым зодчеством. Сама логика построения пирамиды была подчинена культовым целям и представлениям древних египтян о загробном мире. Их мировосприятие создавалось и канонизировалось на протяжении веков. Рисунки, изображающие реальную жизнь в замурованных усыпальницах фараонов, предназначались для самого умершего. Но для него они были не произведениями искусства, а самой реальностью, в которой он, по убеждению древнего египтянина, продолжал существовать после смерти, поскольку загробная жизнь мыслилась как продолжение земной жизни. В то же время это было возможно лишь при участии живых людей, проявляющих заботу об умерших, т. е. соблюдающих особый ритуал — создание гробницы, мумификация умершего, особый заупокойный обряд. Это объясняет и тот факт, что техническая деятельность в древних культурах была неразрывно связана с религиозно-мифологическими представлениями.

Столь огромные египетские пирамиды порой расцениваются как бесполезные строения. Но, во-первых, с точки зрения древних египтян, они выполняли важную функцию достижения вечной и радостной

---

<sup>34</sup> К концу третьего тысячелетия до н.э. шумерский язык стал мертвым и использовался как «язык учености» подобно средневековой латыни.

<sup>35</sup> Дьяконов И. М. Научные представления на древнем Востоке. В кн.: Очерки истории естествонаучных знаний в древности. М.: Наука, 1982, с. 62–63.

жизни после смерти, а во-вторых, именно во время их строительства египетские «инженеры» приобрели технические знания по обработке и транспортировке тяжелых камней и каменных сооружений, которые стали основой технических знаний человечества на многие века. Это же относится и ко многим другим открытиям и изобретениям древности. Религиозно-мифологические представления для древних техников и ремесленников играли в то время такую же роль, как научно-теоретические модели для современных инженеров.

Для строительства пирамид, как и для поддержания в порядке системы оросительных каналов, требовалось огромное количество рабочих, которые, впрочем, были не рабами, а крестьянами, участвующими в свободное от сезонных сельскохозяйственных работ время в строительных общественных работах и получавшими за это питание, что для многих из них было большим благом. Это требовало, в свою очередь, развития искусства организации строительных работ и правильного распределения производительных сил. Соответственно формируется и особый слой людей, специализирующихся в такого рода деятельности. Их можно условно назвать «инженерами», хотя они не образовывали определенного слоя общества, нередко разрушая сословные перегородки благодаря своим организаторско-техническим способностям и знаниям. Таким был, например, египетский «инженер» и архитектор Имхотеп, создатель первой пирамиды — пирамиды Джосера. На гробнице другого египетского архитектора Некхебу (26 г. до н.э.) написано: «Когда его Величество впервые остановил на мне свое внимание, я был простым строительным рабочим. Его Величество передал мне тогда место строительного инспектора, затем надсмотрщика и, наконец, обермастера цеха. А позднее его Величество передал мне пост царского архитектора и строительного мастера, а потом царского архитектора и строительного мастера под непосредственным царским надзором ...» Некхебу построил для фараона Пепи I усыпальницу, два канала и выполнил еще целый ряд его заказов, за что получил титулы, золото, хлеб и пиво<sup>36</sup>.

Американский философ и историк техники Льюис Мэмфорд наглядно показывает, каким образом в древнеегипетском обществе зародился «миф о машине»: в Древнем Египте была развита особая «философия» техники — манипулирование людьми (рабами) как средствами механизированной (механической) деятельности; точнее, каждый раб (а не человек, поскольку раб не обладает самостоятельным сознанием и свободой действий) выполняет лишь предписанные ему механические функции и является как бы составным элементом машиноподобной системы, выполняющей, например, механическую работу по поднятию тяжестей при строительстве пирамиды. Это представление, сформировавшееся в рабовладельческом социуме, стало прообразом будущей механической техники («мегамашина»)<sup>37</sup>.

<sup>36</sup> *Sprague de Camp L. Ingenieure der Antike. Düsseldorf / Wien: Econ Verlag, 1964, S. 48, 49.*

<sup>37</sup> *Mumford L. Mythos der Maschine. Kultur, Technik und Macht. Wien: Europaverlag, 1974, S. 219–225.*

Однако знания египтян были практическими, потребности в теоретическом знании как обобщении этой практики еще не существовало. Это подтверждает полемика между двумя древнеегипетскими писцами Хори и Аменемоне во времена XIX династии (XIII в. до н.э.) Хори упрекает Аменемоне в недостаточной компетенции, и эти упреки свидетельствуют, что от писца тогда требовались знания, необходимые в ежедневной практике: умение вычислить количество необходимых пайков для военного отряда, количество и размеры строительных материалов для возведения насыпи с уклоном, составить расчеты для установки каменного колосса и т. д. «Когда мы говорим о науке древнего Египта, то имеем в виду только первые шаги египетского общества в сторону науки, это, если можно так выразиться, лишь «преднаука», или «протонаука». Но это был неизбежный и необходимый этап в развитии человеческого мышления: без него не могла бы возникнуть и развиваться уже настоящая наука с ее методами, абстракциями и проблемами»<sup>38</sup>. Кроме того, египетские пирамиды строились с помощью весьма простых орудий: египтянам еще не были известны железо и бронза, а также кран и наклонная плоскость. Пилы и сверла изготавливались из меди. Важнее всего была рациональная («механическая») организация работы.

Подобным же образом Аристотель, характеризуя рабов как «живые орудия», отмечает, что управляемый человек — это одушевленное орудие «в руках» управляющего. И если бы инструменты выполняли словесные указания мастера и угадывали его намерения, как статуя Дедала или треножки в кузнечной мастерской бога Гефеста, по описанию Гомера, «то строитель и архитектор не нуждались бы в рабах»<sup>39</sup>. Уже в мифологических образах древних производится своего рода мыслительное «проектирование» будущих возможных технических систем. Эту функцию в современном обществе выполняет научная фантастика. Гомер, например, описывает в «Илиаде» мастерскую бога-кузнеца Гефеста в качестве недостижимого образца, где все технические действия осуществляются автоматически подобно «кибернетической фабрике»:

«Тою порою Фетида достигла Гефестова дома,  
Звездных, нетленных чертогов, прекраснейших среди Олимпа,  
Кои из меди блистательной создал себе хромоногий.  
Бога, покрытого потом, находит в трудах, пред мехами  
Быстро вращавшегося; двадцать треножников вдруг он работал,  
В утварь поставить к стене своего благолепного дома.  
Он под подножием им золотые колеса устроил,  
Сами б собою они приближались к сонму бессмертных,  
Сами б собою и в дом возвращались, взорам на диво.  
В сем они виде окончены были; одних не приделал  
Хитроизмышленных ручек: готовил, и гвозди ковал к ним.

<sup>38</sup> Коростовцев М. А. Наука древнего Египта. В кн.: Очерки истории естественных наук в древности. М.: Наука, 1982, с. 121.

<sup>39</sup> Аристотель. Политика. Кн. 1, гл. 4, 1253b 32 ff.

Тою порою, как он их по замыслам творческим делал,  
В дом его тихо вошла среброногая мать Ахиллеса ...  
... Так произнесши, оставил ее и к мехам приступил он,  
Все на огонь обратил их и действовать дал повеленье.  
Разом в отверстия горнильные двадцать мехов задышали,  
Разным из дул их дыша раздувающим пламень дыханьем,  
Или порывным, служа поспешавшему, или спокойным,  
Смотря на волю творца и на нужду творимого дела.  
Сам он в огонь распыхавшийся медь некрушимую ввергнул,  
Олово бросил, серебро, драгоценное злато; и после  
Тяжкую наковальню насадил на столп, а в десницу  
Молот огромнейший взял, и клещи захватил он другою»<sup>40</sup>.

Для этой фазы исторического развития человечества характерен знамевый синкретизм знаний — еще не существует разделения научных и технических знаний, органично входящих в единую мифологическую структуру.

### **3. Техника без науки и наука без техники. Формирование предпосылок современной научной картины мира у первых древнегреческих натурфилософов**

Развитие древнегреческой техники фактически означает продолжение агрессивного овладения природой. Это относится прежде всего к развитию военной техники и организации армии и флота, а также к организации строительных работ. Характерной чертой этого периода является относительно независимое развитие техники и нарождающейся науки.

В Древней Греции любая техническая ремесленная деятельность называлась *технэ* — понятие, имеющее индогерманские корни и первоначально обозначавшее плотницкое ремесло, строительство жилища. У Гомера это понятие распространяется и на кузнечное ремесло, а позднее на ремесленное производство вообще, ремесленную профессиональную деятельность. В послегомеровское время это понятие относится к еще более широкой сфере, объединившей и искусство, и технику, и вообще профессиональное мастерство всякого рода (*технэ* поэта, певца, врача, музыканта и др.), т. е. практический интеллект. Понятие *технэ* у древних греков, таким образом, включало в себя не только ремесло, но и любое профессиональное мастерство, в том числе искусство (*технэ* = ремесленная техника + искусство).

*Технэ* принципиально отличается от понятия техники в современном смысле этого слова. Носитель *технэ*, находясь как бы вне природы — *фюсис* и отмечая правила протекания ее процессов, т. е. наблюдая за ней, как за самой лучшей ремесленницей и учительницей, подражает ей. Современный техник, напротив, вторгается в природу, исследует ее законы и может возвыситься над ней и управлять ею в

<sup>40</sup> Гомер. Илиада. М.: Московский рабочий, 1981, с. 302–304.

своих интересах, т. е. он не приспособляется к природе, а приспособляет ее к себе <sup>41</sup>.

Как отмечает Эспинас <sup>42</sup>, античная техника была религиозной, традиционной и местной. Лишь при переходе от олигархии к тирании, раскрывающей социальные силы самодеятельности (поскольку первая волна тирании в Древней Греции была проводником демократии, как власти народа в отличие от власти немногих знатных родов), начинается следующий период утилитарной, искусственной и светской техники, сознательной искусственной фабрикации орудий. Роль богов уменьшается. Практические навыки (технэ) определены и предписаны богами, поэтому являются божественными законами, но уже не считаются сверхъестественными, и именно благодаря своей божественности образуют часть человеческой природы и природы вообще. Человек уже сотрудничает с богами, чтобы улучшить свое положение.

В античности ремесленное производство — это прежде всего художественное производство. Оно не ориентировалось на науку — скорее постулировалась отделенность техники от науки. Техника и производство древнегреческих ремесленников не были научной техникой и научным производством.

Этот факт хорошо иллюстрирует беседа Сократа с изготовителем воинских доспехов из «Воспоминаний о Сократе» Ксенофонта <sup>43</sup>, в ходе которой Сократ выспрашивает его о принципах технэ, в частности, почему его доспехи дороже, чем у других, хотя он не использует более дорогостоящие материалы. Ремесленник отвечает, что он стремится к максимальной соотносимости отдельных частей доспехов, причем не следует единому стилю или правилу пропорциональности, а исходит из принципа, что доспехи не должны действовать угнетающе на их владельца, а их совокупный вес должен распределяться по телу пропорционально способности отдельных частей тела выдерживать соответствующую тяжесть. При этом важно сохранить свободу перемещения воина, т. е. доспехи во время движения не должны беспокоить его. Таким образом, в данном случае общий принцип технэ сводится к достижению максимальной защиты от врага с минимальными ограничениями движения воина. Причем производитель имеет только мнение о достоинствах и недостатках доспехов, а их носитель располагает подлинным знанием об этом.

### *Технэ и наука разведены в древнегреческом обществе*

Занятие наукой предполагало не только умение рассуждать, доказывать, вычислять и т. д., но и обладание многими свойствами, неизвестными практикам, например стремлением к познанию окружающего мира, умением удивляться, «ибо вследствие удивления люди и теперь и впервые начали философствовать... Но тот, кто испытывает недоумение и изумление, считает себя незнающим...» <sup>44</sup>. Получение удовольствия от познания стало ведущим для античного ученого че-

<sup>41</sup> Kube J. *ΤΕΧΝΗ UND ΑΡΕΤΗ. Sophistisches und platonisches Tugendwissen.* Berlin; Walter de Gruyter & Co., 1969.

<sup>42</sup> См.: Роль орудий в развитии человечества. М.: Прибой, 1925, с. 165–166.

<sup>43</sup> Tiles J. E. *Techne and Moral Expertise.* In: *Philosophy*, 1965, vol. 59, № 227.

<sup>44</sup> Аристотель. *Метафизика.* М.-Л.: Гос. социально-экономическое изд-во, 1934, с. 122.

ловека. Техническое же действие осмысливалось в практической или приземленной реальности. Хотя вещи и машины выходили из рук «людей опыта» — ремесленников, принципы их движения и функционирования (достижение «блага») были известны только «мудрым», т. е. тем, кто владел знанием, наукой.

Античный техник и ремесленник были далеки от мысли, что научное знание может стать необходимым условием дела, хотя и не отрицали силу знания в другой — интеллектуальной — сфере. Науку заменяли им традиции, личный и заимствованный от предыдущих поколений мастеров опыт, ловкость рук, смекалка. В этом смысле весьма показателен трактат Витрувия «Об архитектуре», целью которого было описание практически добытой рецептуры. И хотя Витрувий во введении ратует за то, чтобы архитекторы сочетали теорию и практику, он не решается все же утверждать, что теория является основой практики, «что на основании научных обобщений можно выполнить какую-либо научную работу, теория служит у него только для оценки уже выполненной, при помощи эмпирически добытых приемов, работы»<sup>45</sup>.

Однако это вовсе не значит, что вся античная философия и наука никак не была связана с практическими нуждами общества. Эту связь, в частности, отмечает Элиан в «Пестрых рассказах»: «Философы пеклись о нуждах государства, а не жили отрешенными от подобных забот мудрецами... Следовательно, полагать, будто философы чужды практической деятельности, нелепо и неразумно». У жителей Локр законы усовершенствовал Зелак, во благо терентянам потрудился Архит, Солон дал законы афинянам, а Биант и Фалес принесли великую пользу Ионии, Анаксимандр вывел поселенцев из Милета в Апполонию, Ксенофонт был отличным воином, а во время похода персидского царя Кира — еще и лучшим полководцем и стратегом, Аристотель был учителем и наставником юного Александра Македонского, а Лисид — знаменитый ученик Пифагора — обучал Эпаминонда. Этот список можно продолжить: Сократ был сыном скульптора, и ему приписывают скульптуру трех одетых Харит, Анаксимандр изобрел гномон, указывающий солнцестояния и равнодействия, а также, возможно, небесный глобус, нарисовав на нем очертания Земли и моря, Платону приписывают изобретение водяного будильника... Однако делали они это не ради корысти, а с целью показать силу знания.

Например, существует поверье, согласно которому первый древнегреческий философ Фалес, один из семи мудрецов, предсказав большой урожай оливок, скупил все маслодавильни и сдал их в наем за большие проценты. Насколько эта история соответствует действительности, конечно, сегодня трудно проверить, однако о предсказании Фалесом солнечного затмения 28 мая 585 г. до н.э. известно достаточно достоверно. Именно с этой датой связывают рождение древнегреческой философии. «Предложив создать конфедерацию ионийских городов, Фалес выступил как государственный деятель, поднявшийся выше партикуляризма отдельных полисов, живших обособленной друг от друга жизнью и ревниво охранявших свою независимость». Перевод войск царя Креза через реку Галис также свидетельствует о высокой компетентности Фалеса в технических вопросах<sup>46</sup>. Но независимо от того соответствует это действительности или нет, известный случай с Фалесом, когда он, заглядевшись на звезды, упал в яму, за что

<sup>45</sup> Гукковский М. А. Механика Леонардо да Винчи. М.-Л.: АН СССР, 1947, с. 62.

<sup>46</sup> Рожанский И. Д. Эволюция образа ученого в Древней Греции // Вопросы истории естествознания и техники, 1980, № 1, с. 34.

и был осмеян проходившей мимо служанкой («хочет знать, что происходит на небе, а ничего не видит у себя под ногами»), лучше всего иллюстрирует разрыв между теорией и практикой, существовавший в общественном сознании эпохи античности, созерцательную ценность и отстраненность от практических вопросов истинно научной теории<sup>47</sup>.

Наука и техника существовали в сознании древних греков независимо друг от друга. Научное познание отождествлялось древними греками с созерцанием природы, всматриванием, вслушиванием в нее. Подлинная цель науки виделась в непосредственном усмотрении истины в природе, а всякие практические действия с природными объектами рассматривались как мешающие этому усмотрению. «В странах Ближнего Востока математические, астрономические, медицинские и иные знания имели прикладной характер и служили только практическим целям. Греческая наука с момента своего зарождения была наукой теоретической; ее целью было отыскание истины, что определило ряд ее особенностей, оставшимися чуждыми восточной науке»<sup>48</sup>.

Разграничение «теоретического» и «практического» было очень важным для всего последующего развития науки. Умение мыслить в понятиях, образовывать их, двигаться в плоскости «чистой» мысли, позволяющее выделить рассуждение из практического повседневного опыта, — великое завоевание древнегреческой философии, первое основание и предпосылка всякой науки и, как это ни парадоксально, ее последующего приложения к технике, поскольку «приложение» возможно только в том случае, когда есть то, что можно прилагать, т. е. теоретические результаты. А для этого сначала нужно четко разграничить сферу «теоретического» и сферу «практического приложения» этого «теоретического».

Высшая ценность придавалась «знанию ради знания» — именно ему, а не знанию ради последствий отдавался приоритет. «Из наук считается ... мудростью та, — утверждает Аристотель, — которая избирается ради нее самой и в целях познания, а не та, которая привлекает из-за последствий...»<sup>49</sup>.

Тем не менее именно механические, технические модели природы, принадлежащие первым древнегреческим философам, знаменовали переход к научно-рациональному объяснению природы в отличие от иррационально-мифологического. Уже у Гомера и Гесиода попытки систематизации мифологии привели фактически к разрушению мифологической картины мира, переходу к рассуждению о природе в понятиях, а не только в мифопоэтических образах, при котором эти понятия конструируются специально для объяснения окружающей

---

<sup>47</sup> Weischedel W. Über Philosophen. Stuttgart: Rombucher GmbH, S. 11–20 (Thales oder die Geburt der Philosophie).

<sup>48</sup> Рожанский И. Д. Древнегреческая наука. В кн.: Очерки истории естествонаучных знаний в древности. М.: Наука, 1982, с. 201.

<sup>49</sup> Аристотель. Метафизика. М.-Л.: Гос. социально-экономическое изд., 1934, с. 21.

действительности естественными причинами. Древнегреческие философы формировали и само понятие «природа».

В период античности постепенно изменяется отношение к мифу как к господствующей форме общественного сознания. Уже в поэмах Гомера «Илиада» и «Одиссея» и поэме Гесиода «Труды и дни» первоначальный мифологический субстрат систематизируется и переосмысливается, а не просто воспроизводится. Он становится средством художественного, метафорического представления реальных исторических событий и психологических состояний, а также философского осмысления событий, происходящих в обществе и природе, в виде мифологически-художественного образа.

Миф перестает быть безусловным репрезентантом реальности. Это видно на примере древнегреческой драмы, основанной на ритуальных действиях, в которой символические действия участников празднеств были средством воздействия на реальность в целях получения конкретных практических результатов (хорошего урожая, повышения плодородия почвы и т. п.). Участники драматического представления (актеры и зрители) уже осознали условность театрального действия, целью которого было получение эстетического наслаждения. Отделение мифопоэтического образа от реальности произошло и в древнегреческой эпической поэзии. Попытки рационального осмысления мифов, устранения противоречий в них, их систематизации приучали мыслить абстрактно-логически. Так постепенно мифологические образы Гомера и Гесиода, а затем смыслообразы Гераклита и других ранних греческих философов способствовали формированию абстрактных понятий и представлений, свободного теоретического рассуждения, направленного на поиск истинного знания, а не мнения, которое было характерно для мифов. Олимпийские боги были устранены от управления миром, а их место занял *логос* — мысль, адекватно выраженная в слове, и одновременно, по Гераклиту, закон, управляющий миром. В рассуждениях Гераклита очень много неясного, метафорического. Не случайно его называли «темным». Однако главное заключается в том, что первые древнегреческие философы впервые попытались осмыслить природу в понятиях, специально конструируя эти понятия, объясняя ее становление и развитие, процессы, в ней происходящие, естественными причинами.

Вместо мифологических объяснений природы, Вселенной, характерных для всех древних религий, первые древнегреческие философы предлагают механические объяснения. Это было прогрессом в становлении научного познания мира, какими бы наивными эти объяснения нам сегодня ни казались. Наиболее характерный пример такого объяснения — механическая модель Космоса, предложенная Анаксимандром.

Анаксимандр жил в г. Милете около 610–546 гг. до н.э. и был другом и учеником первого древнегреческого натурфилософа Фалеса. Он первым развил чисто физическую, основанную на наблюдении и рациональном мышлении историю становления Космоса — исследование и объяснение сущности вещей в природе рациональными средствами, без



привлечения богов (например, объяснение природы затмения). Ему принадлежит введение в обиход научной прозы, положившей начало становлению научной литературы. Его сочинение «О природе» было впервые написано прозой (в отличие от одноименного сочинения Фалеса и от поэм Гомера и Гесиода). Это было началом философской традиции, аккумуляции и развития научно-философских знаний о природе вещей в рамках единой научной традиции.

Вместе с другими древнегреческими натурфилософами, произведения которых чаще всего носят название «О природе», Анаксимандр выработал понятие «природа» в смысле всеобъемлющего Космоса, универсума, Вселенной, внутренней структуры вещей окружающего мира. Первоначально понятие «природа» в медицинской практике означало органическое произрастание и использовалось для объяснения костно-мышечной конституции человека или внутреннего строения растения — например, Эрмий в поэме Гомера объясняет Одиссею чудодейственную *природу* корня растения, являющегося в силу этого противоядием от колдовских чар<sup>50</sup>:

«Слушай, однако: тебя от беды я великой избавить  
Средство имею; дам зелье тебе; ты в жилище Цирцеи  
Смело поди с ним; оно охранит от ужасного часа.  
Я же тебе расскажу о волшебствах коварной богини:  
Пойло она приготовит и зелья в то пойло подсыплет.  
Но над тобой не подействуют чары; чудесное средство,  
Данное мною, их силу разрушит ...»  
... С семи словами растенье мне подал божественный Эрмий,  
Вырвав его из земли и *природу* (курсив мой. — В.Г.) его объяснив мне:  
Корень был черный, подобен был цвет молоку белизною;  
*Моли* его называют бессмертные; людям опасно  
С корнем его вырывать из земли, но богам все возможно.  
Эрмий, подав мне растенье, на светлый Олимп возвратился».

В этом характерном для мифомышления описании реальных исторических событий присутствуют боги, вмешивающиеся в ход истории и корректирующие ее. В данном случае бог Гермес (Эрмий) помогает Одиссею, объясняя ему сущность, природу цветка.

Более широкий, философский смысл понятие «природа» приобретает в произведениях ранних греческих натурфилософов. Аристотель следующим образом резюмирует это понятие: «... природою в первом и основном смысле является сущность ... а именно сущность вещей, имеющих начало движения в самих себе, как таковых»<sup>51</sup>.

Анаксимандру принадлежит также попытка введения первого абстрактного научного понятия «апейрон» для объяснения сущности вещей, означающее нечто «беспредельное», «бесконечное», «неопределенное», составляющее основу всех вещей. Умение мыслить, ис-

<sup>50</sup> Шадевальд В. Понятия «природа» и «техника» у греков. В кн.: Философия техники в ФРГ. М.: Прогресс, 1989, с. 93–94.

<sup>51</sup> Рожанский И.Д. Развитие естествознания в эпоху античности. М.: Наука, 1979, с. 105–106.

пользуя понятия, образовывать их, двигаться в плоскости «чистой» мысли, позволяющее выделять рациональное рассуждение из практического повседневного опыта, — великое завоевание древнегреческой философии, первое основание и предпосылка любой науки.

Анаксимандр использует технику и технические знания и аналогии для рационального объяснения «устройства» природы. Это один из первых примеров применения технических аналогий для рационального объяснения функционирования Космоса (глобальных природных процессов): «По Анаксимандру, кольцо солнца в 28 раз больше земли. Оно подобно колесу колесницы, имеющему обод, наполненный огнем. Этот огонь обнаруживается сквозь отверстие в некоторой части обода как бы разрядами молнии. Это и есть солнце лунное кольцо в 19 раз больше земли. Оно подобно колесу колесницы, имеющему обод, наполненный, как и кольцо солнца, огнем. Оно также лежит наискось и имеет одно испускание, и это как бы разряды молнии лунное затмение бывает, когда отверстие на поверхности лунного кольца закрывается»<sup>52</sup>. Шадевальд отмечает: «это несколько примитивно, но интересно, как теперь разумно технически объясняются небесные явления, которые прежде понимались мистически»<sup>53</sup>.

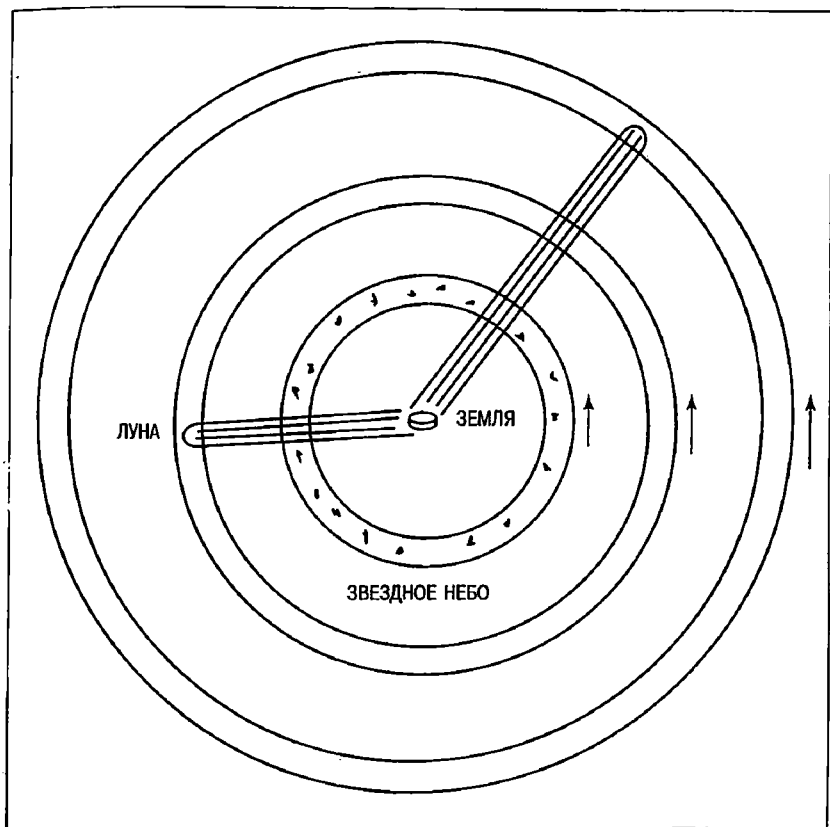
Это описание намного опережает древнеегипетские и древневавилонские представления. Например, древние египтяне представляли себе Землю в виде удлиненной миски, вдоль которой течет река Нил. Плоская поверхность «миски» воспроизводила бассейн Нила, которым была ограничена античная египетская цивилизация, а ее края — горную гряду, лежавшую на границах этого земного жизненного пространства. Над «земной миской» располагался воздух, воспринимавшийся как особое божество, на который опирался вращающийся небесный свод. Снизу «земная миска» покоилась на воде, также божестве, а вода — на третьей «миске», симметрично ограничивающей универсум снизу.

Примерно так же представлял систему мира Гесиод: круглый диск твердой Земли с горами, реками и морями омывается океаном, который переходит в твердое куполообразное небо, образующее вместе с Землей и расположенной снизу полусферой Тартара (преисподней) замкнутое единство, за пределами которого располагается хаос. Мир создан Зевсом с учетом ошибок его предшественников и больше не меняется.

У Анаксимандра уже нет места богам, в то время как Гомер и Гесиод еще не могут без них обойтись. Вместо богов, олицетворяющих в персонафицированном виде силы природы, Анаксимандр приводит механические аналогии, обсуждает размеры и местоположение звезд и планет, механизм появления солнечных и лунных затмений (рис. 21). «Таким образом Анаксимандр конструирует смелую, в противоположность Гесиоду делающую упор на материальную область,

<sup>52</sup> Аэций. См.: Антология мировой философии. Т. I. М.: Мысль, 1969, с. 272.

<sup>53</sup> Schadewald W. Die Anfänge der Philosophie bei den Griechen. B. 1. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1978, S. 214.



**Рис. 21. Реконструкция представления Космоса Анаксимандром**

(Рисунок взят из книги: Kraft F. *Geschichte der Naturwissenschaft I. Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen.* Freiburg & Verlag Rombach, 1971, S. 115.)

всеобъемлющую космологическую мыслительную конструкцию, сильно обобщает отдельные наблюдения и так их объясняет, что объяснения отдельных явлений и состояний получаются одновременно дедуктивно и последовательно из космологической концепции и не противоречат друг другу. Целое подчинено закономерности, которая, со своей стороны, в мифологическом смысле была уже намечена Гесиодом»<sup>54</sup>. Еще не проведено различие между физической, биологической и математической областями, но эта единая картина мира является уже следствием критического исследования и мыслительного синтеза пред-

<sup>54</sup> Kraft F. *Geschichte der Naturwissenschaft I. Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen.* Freiburg & Verlag Rombach, 1971, S. 119.

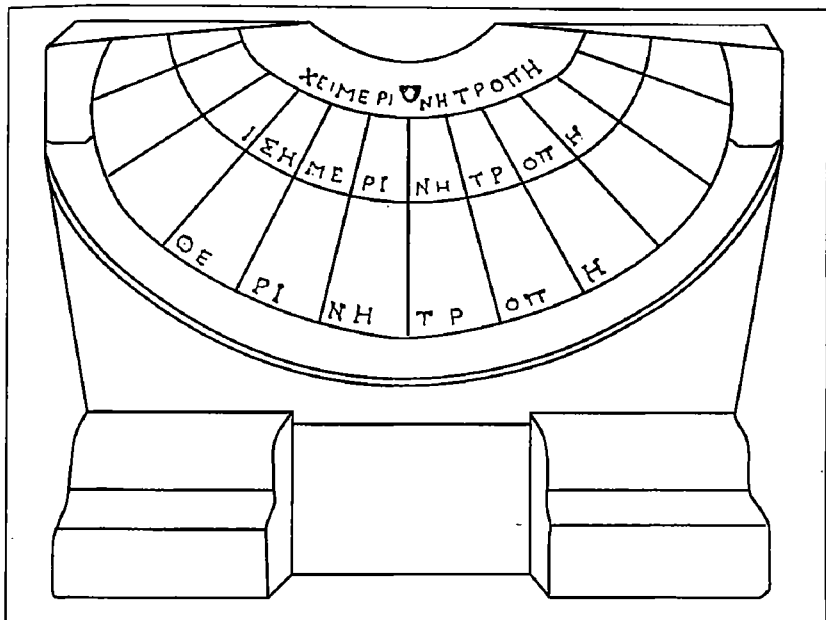
ставлений предшественников: с одной стороны, систематического и генеалогического рассмотрения последовательности поколений богов в космологической картине мира Гесиода, с другой стороны, рационального и исходящего из естественных причин способа объяснения природных явлений Фалеса.

Анаксимандру приписывается изобретение *гномона* как орудия (технического средства) познания природы (Космоса), которое открывает новую эру использования и усовершенствования орудий повседневной деятельности в качестве орудий познания («техника на службе у науки»). Конечно, изобретение гномона в действительности было лишь усовершенствованием солнечных часов (изобретенных для измерения времени в течение дня еще древними вавилонянами), как астрономического инструмента, т. е. пригодного для научных — астрономических — целей (научных измерений). (В этом прослеживается аналогия с Галилеем, начавшим использовать в новой науке — экспериментальном естествознании — телескоп, изобретенный голландским ремесленником.)

Но в отличие от древних вавилонян Анаксимандр перешел от арифметических расчетов к геометрическим представлениям. Он рассматривал Землю как покоящийся в центре Вселенной цилиндр. Ему приписывают и составление первой карты Земли. «С Анаксимандра начинается тот процесс, который привел на место простой *арифметической* астрономии древних восточных культур *геометризацию* этой науки. Оказывается, что также более поздняя традиция греков осознавала, что Анаксимандру принадлежит первенство в геометризации картины мира»<sup>55</sup>. Гномон с помощью диаграммы солнечных теней, их перераспределения и создает *объективную* геометрическую картину мира — объективную хотя бы потому, что она не зависит от наблюдателя. Геометрическая игра света и теней является объективным репрезентантом реального Космоса. Мир демонстрирует себя сам посредством гномона как пассивный рецептор, сам активно пишет с помощью теней «на листе бумаги». В этом смысле гномон не является таким же орудием, как палка для первобытного человека, а представляет собой теоретический объект, показывающий модель Космоса, артефакт, который, однако, соотносен не с субъектом, а остается объектом среди объектов между Солнцем и Землей. «Математическая идеальность в Древней Греции никогда не соотносилась с думающим субъектом. В игре теней у подножия гномона демонстрируется реализм идеальностей, форма как вещь или вещь как форма. Точка, прямая, угол, поверхность, круг, треугольник, квадрат — возникают там в качестве идеальных форм, оказываясь посредниками среди самих вещей, в реальном мире, реальные как и лучи света тени, однако в качестве их общих границ»<sup>56</sup>.

<sup>55</sup> Szabo A. Das geozentrische Weltbild. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1992, S. 96.

<sup>56</sup> Ritter J. Jedem seine Wahrheit: die Mathematiken in Egipten und Mesopotamien. In: Elemente einer Geschichte der Wissenschaft. Hrsg. M. Serres. Frankfurt a.M.: Suhrkamp, 1994, S. 124–126.



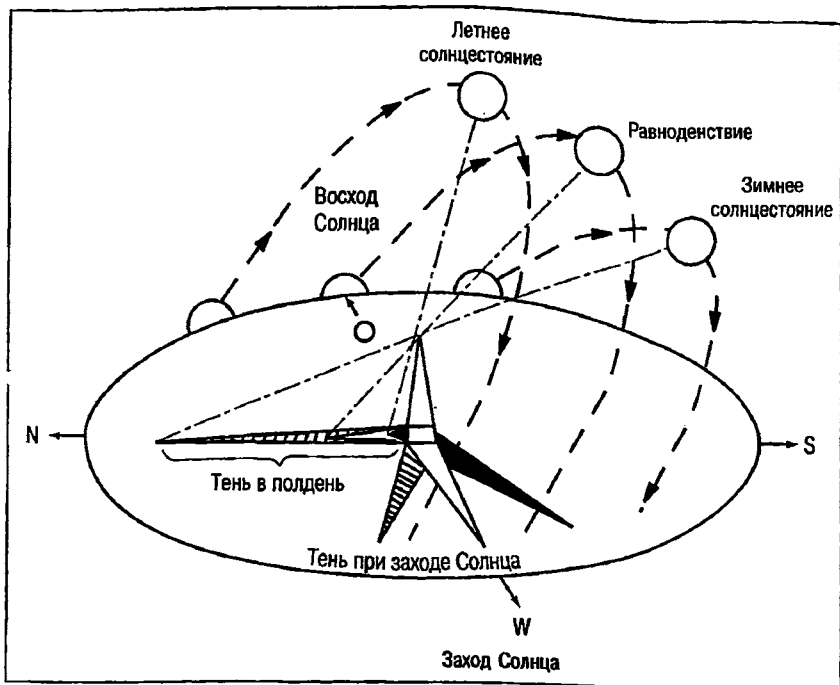
**Рис. 22. Чертеж солнечных часов из Самоса**

(Рисунок взят из книги: Szabo A. *Das geozentrische Weltbild*. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1992, S. 312.)

Именно это время можно считать временем возникновения зачатков основных концепций современного естествознания на сравнительно небольшом отрезке исторического периода (от 700 до 300 гг. до н.э.) и на компактной территории культурного жизненного пространства, которые были связаны с именами известных древнегреческих философов и ученых. Именно в это время были сформулированы основные исследовательские программы, к которым наука постоянно возвращается и которые она снова и снова переосмысливает.

«Общественной основой этого духовного скачка было утверждение политической формы города-государства (полиса). Равноправие свободных граждан перед законом и участие каждого в выполнении общественных функций способствовали развитию чувства гражданской ответственности и критичности мышления. Необходимость выступать в народных собраниях и убедительно (т. е. логически обоснованно) защищать свою точку зрения привела к усовершенствованию искусства устной аргументации и в конечном итоге к разработке приемов логического доказательства»<sup>57</sup>. Можно привести еще целый ряд факторов, способствующих созданию особых условий, которые благоприятствовали становлению науки в Древней Греции:

<sup>57</sup> Рожанский И. Д. Древнегреческая наука. В кн.: Очерки истории естественных наук в древности. М.: Наука, 1982, с. 203.



**Рис. 23. Зависимость тени гномона от места восхода солнца, высоты расположения солнца на небосводе в полдень и времени года**

(Рисунок взят из книги: Kraft F. *Geschichte der Naturwissenschaft I. Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen*. Freiburg & Verlag Rombach, 1971.)

отсутствие сословия чиновников и жрецов, обусловленное небольшими размерами малости греческих городов-государств, прекращение зависимости философии от религии и повышение практической роли философии в жизни общества и обучения молодежи;

- развитие самосознания индивида как свободного члена общества и осознание собственной социальной роли и творческой активности, влияние философов на сильных мира сего и политическую и законодательную деятельность;

- нерегламентированность занятий наукой государственными или религиозными институтами, поскольку это было частным делом свободных граждан и потому не имело сугубо практической направленности, характерной для вавилонской и египетской преднауки;

- развитие философской рефлексии над миром и обыденным сознанием, концептуализация мышления, отказ от религиозно-мифологических объяснений и образов и замена антропоморфных образов безличными и общезначимыми силами природы <sup>58</sup>.

<sup>58</sup> Рожанский И.Д. Указ. соч., с. 204, 205.

#### 4. Первые исследовательские программы античной философии и науки

Первые древнегреческие натурфилософы — Фалес, Анаксимандр, Анаксимен, Гераклит и др., — начав рассуждать о Природе, Мире, Космосе, используя рациональный способ рассуждения в абстрактных понятиях, исходя из естественных причин и аккумулируя и критически переосмысливая мыслительные достижения предшественников, заложили начало естественнонаучного исследования, хотя многие их мыслительные конструкции и объяснения сейчас кажутся весьма наивными. Подобные наивные представления критиковал Сократ, подчеркивая необходимость четкого разделения объяснения причин природных явлений и специального исследования самого процесса рационального рассуждения, посредством которого это рассуждение получено. Он перевел центр тяжести философского анализа в область критической рефлексии самого знания и способов его получения, исследования не столько природы как таковой, сколько знания о природе. В этот период античная наука фактически формулирует все основные концепции, научно-исследовательские программы современного естествознания, развивающиеся и постоянно переосмысливающиеся вплоть до нашего времени (например, атомистическое представление, развитое Левкиппом и Демокритом, до сих пор не потеряло актуальность в научных конструкциях, объясняющих строение материи)<sup>59</sup>.

Мы еще будем неоднократно возвращаться к наследию древнегреческих мыслителей, его переосмыслению в средние века, Новое время и т. д. вплоть до современности. В этом разделе мы рассмотрим только две ставшие классическими программы — платоновскую и аристотелевскую, которые составили основу древнегреческих научных школ — соответственно платоновской и аристотелевской. Мы проанализируем два основных направления, характерных для этих школ и наиболее явно отразившихся в современном естествознании, — развитие дедуктивного идеала математической теории, оказавшего влияние на становление математизированного естествознания, и модели Космоса, породившие в конечном счете современную естественнонаучную теорию, основывающуюся на моделировании естественных, природных процессов. «... Для греков имело значение прежде всего строгое решение, полученное путем логических рассуждений. Это привело к разработке математической дедукции, определившей характер всей последующей математики. Греческие ученые начали создавать модели космоса, предвосхитив тем самым важнейшую черту всего позднейшего естествознания — моделирование механизма природных явлений»<sup>60</sup>. К этим двум научным программам, конституировавшимся в античной науке, следует добавить и программу Архимеда, которую следовало бы квалифицировать как научно-техническую.

<sup>59</sup> Об исследовательских программах в античности см.: Гайденко П. П. Эволюция понятия науки. Становление первых научных программ. М.: Наука, 1980.

<sup>60</sup> Рожанский И. Д. Указ. соч., с. 201.

Именно она обусловила впоследствии возникновение галилеевской новой науки, основанной на технически организованном эксперименте, а значительно позже — становление технических наук.

*Пифагорейское учение и платоновская программа развития математики; ее воплощение в евклидовой геометрии как образце реализации аксиоматического метода построения науки; современное представление об евклидовой геометрии как естественнонаучной теории*

Пифагорейская школа, первая в истории человечества научная школа, возникла в Италии (о-в Сицилия, г. Кротон) во второй половине VI в. до н.э. Главной идеей развиваемого в ней учения была вера в то, что мир основан на *числовой гармонии*, что каждой вещи в природе присуще определенное числовое отношение, поэтому познание сущности природы и должно сводиться к поиску числовых отношений. Эти числовые пропорции наиболее рельефно обнаруживаются в музыке, геометрических отношениях и регулярности движения небесных светил. В силу этого возникло новое понимание математического знания и числа, с помощью которого не просто решаются практические задачи, а дается объяснение всего сущего. Число из *средства* исследования и практического действия превращается в *предмет* исследования. Пифагорейцы стремятся постичь сущность чисел и числовых отношений, чтобы посредством этого понять сущность мироздания. Число, по их мнению, — основа всего сущего, начало, которое определяет беспредельную и неопределенную материю, начало устройства и познания мира, а исследование числа — средство спасения души. Математические упражнения перестали быть лишь средством решения практических задач, а приобрели высший смысл созерцания истинно сущего, поскольку математические предметы находятся на границе телесного и бестелесного (они трехмерны, как все телесное, но плотности не имеют, как все бестелесное). Фактически для пифагорейцев не числа определяются реальными вещами, а вещи определяются числами, подражая им. Они выделили 5 телесных математических фигур, которым соответствуют материальные элементы, возникшие из них: из куба возникла Земля, из пирамиды — огонь, из октаэдра — воздух и т. д. Поэтому пифагорейцы рассматривают числа и численные отношения как ключ к пониманию Вселенной и ее структуры.

Пифагорейское учение о числе как божественном начале мира сыграло роль «посредника» между древневосточной математикой как собранием образцов решения отдельных практических задач, и древнегреческой математикой как системой положений, строго связанных между собой с помощью доказательств. Это позволило им перейти от числа 7 в качестве сакрального основания мира, отражавшего семеричные реалии в природе, к числу 10, отражающему отношение одних чисел к другим, поскольку оно создает все возможные типы численных отношений. Это ознаменовало переход от мифологически сакральной численной символики к выявлению математических числен-



ных отношений. Поскольку связь между числами стали рассматриваться как основание всех природных явлений («все есть число») и фактически не проводилось различия между числами и вещами (числа имели зрительный, геометрический образ: единица — это точка, двойка — линия, тройка — плоскость, четверка — тело) и сами числа рассматривались как неделимые единицы (точки-монады), из которых составлены тела, то это, с одной стороны, привело к геометризации математики, а с другой стороны, заложило основы будущей математизации естествознания. Сами пифагорейцы уже в V в. до н.э. сформулировали важное для будущего развития математики положение о том, что точное знание возможно лишь на основе математики. Например, пифагореец Архит «первый упорядочил механику, приложив к ней математические основы и первый свел движение к геометрическому чертежу»<sup>61</sup>. Это пифагорейское представление о математическом фундаменте научного знания получило теоретическое выражение и четкое обоснование в сочинениях Платона (ок. 428–348 до н.э.), который систематизировал различные области математического знания и фактически разработал основания математического естествознания<sup>62</sup>.

«В своей теории идей Платон столкнулся с математикой. Возможно, что интерес к математике возник у него во время его пребывания в Италии под влиянием знакомства с пифагорейцем Архитом Тарентским. Вернувшись на родину, Платон основал Академию, знаменитую научную школу, над дверями которой, согласно преданию, было написано: «Несведущим в геометрии вход воспрещен». Высокая оценка математики определялась философскими установками Платона: он считал, что занятия математикой являются важными на пути к познанию вечных идеальных истин. Сам Платон не внес существенного вклада в математику, но его влияние на развитие математических наук было весьма значительным»<sup>63</sup>. Но, главное (что было важно для возможности последующей математизации естествознания), Платон осуществил связь между геометрией как учением о неподвижных плоских фигурах, и астрономией как учением о движущихся телах на основе его учения об идеях<sup>64</sup>.

Платон различает:

- 1) материю — небытие как пассивную «восприемницу» идей;
- 2) чувственные вещи — тени мира идей как смесь бытия и небытия, отпечатки сверхчувственных идей, образцов (прототипов) вещей в материи, которые возникают, изменяются и уничтожаются;
- 3) мир «истинного бытия» — мир идей, которые представляют собой абсолютные, неизменные, неподвижные духовные сущности (например, идея блага — высшего добра, находящаяся на вершине всего мира идей, или «прекрасное вообще»).

Первые два мира представляют собой предмет мнения, а третий — предмет истинного знания. Причем у Платона нет четкого ответа на

---

<sup>61</sup> Диоген Лаэртский. О жизни, учениях и изречениях знаменитых философов. М.: Мысль, 1979, с. 355.

<sup>62</sup> Kraft F. Geschichte der Naturwissenschaft I. Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen. Freiburg & Verlag Rombach, 1971.

<sup>63</sup> Рожанский И.Д. Указ. соч., с. 235.

<sup>64</sup> Kraft F. Geschichte der Naturwissenschaft I. Die Begründung einer Wissenschaft von der Natur durch die Griechen. Freiburg & Verlag Rombach, 1971, S. 338.

вопрос о характере взаимоотношений 2-го и 3-го миров. Он указывает три основные формы таких взаимоотношений:

- чувственные вещи *подражают* идеям как своим образцам, с которыми они таким образом обнаруживают сходство;
- чувственные вещи *участвуют* в идеях (особенно, если речь идет о взаимоотношениях между идеями и вещами как общим и отдельным, единым и многим);
- идеи *присутствуют* в вещах — идеи «приходят» к вещам и «удаляются» от них — в зависимости от этого обнаруживается сходство или различие между идеями и вещами.

Аристотель, критикуя учение Платона об идеях, отметил существующий разрыв между неподвижными идеями и изменчивыми вещами. Платон подчиняет идеям и производит из них всю конкретную действительность. Движение, развитие, изменение чувственных вещей находят объяснение во взаимодействии бытия (идей) и небытия (материи). Идеи выступают как цели, определяющие развитие вещей. Между чувственными вещами и идеями Платон помещает мир чисел:

- идеи — истинное бытие;  
числа — особые самостоятельные сущности;
- чувственные вещи — материя (небытие).

Причем материя существует в виде физических тел именно благодаря математическим отношениям, а принципом, обуславливающим единство математики и упорядоченного мира чувственных вещей, является мировая душа, которая создана Богом-демиургом и может быть доброй или злой. Кроме того, существуют и отдельные души — звездные, человеческие, животных и растений.

Чувства, по Платону, не могут быть источником истинного знания, их областью является мнение. Поэтому чувства и подражания им (ремесла) не могут быть предметом теоретического мышления. Источник же истинного знания — воспоминания бессмертной человеческой души о созерцании ею мира идей еще до вселения в смертное тело человека, которое суть темница души. Истинное знание, или познание идей, доступно лишь разуму и осуществляется в понятиях, которые имеют своим предметом духовные сущности. Числа также могут быть предметом размышления. Для познания истины надо полностью отрешиться от чувственных восприятий, поскольку чистое мышление обладает способностью непосредственно созерцать идеи. Например, подобие чувственных вещей объясняется идеей подобия. Для установления сходства между подобным необходимо предварительно вспомнить идею подобия. Итак, число как идеальное образование, нельзя воспринимать чувствами, а можно только мыслить. Однако между миром идеального и чувственным миром, между числами и вещами Платон помещает «математические объекты» — фигуры, которыми оперирует геометрия (треугольники, окружности и т. д.). Они являются объектами мысли, но могут иметь чувственные аналоги, подобия (пространственные образы).

Таким образом, математика для Платона — это наука об идеях, которой занимаются ради познания вечного бытия, а ее основная

задача — созерцание идеи блага. Он различает зрение как ощущение и умозрение как интеллектуальное созерцание идей. Солнечный свет, например, является у него промежуточной реальностью, чувственным аналогом света разума — сверхчувственной реальности. Достоверное знание мы можем получить лишь в той мере, в какой раскроем математические структуры природного мира.

В диалоге «Тимей» Платон развивает свой вариант «математической физики». «Платон признает четыре стихии основными компонентами материального мира, но не считает их элементарными в строгом смысле слова. В их основе лежит общая неопределенная материя, которую Платон называет Кормилицей, или Восприемницей, и которая, оформляясь, «растекается влагой, пламенеет огнем и принимает формы земли и воздуха» («Тимей» 52). Эти четыре стихии (или «четыре рода», как их называет Платон) упорядочены с помощью образов и чисел, а именно состоят из мельчайших невидимых частиц, имеющих формы правильных многогранников (так, частицы огня — тетраэдры, воздуха — октаэдры, воды — икосаэдры, земли — кубы). Поверхность каждого многогранника может быть представлена как комбинация некоторого числа прямоугольных треугольников — либо неравносторонних, с углами при гипотенузе 30° и 60°, либо равносторонних с углами 45°. Эти треугольники суть элементарные структурные единицы, на которых построены вещи. С помощью треугольников первого типа могут быть получены фигуры частиц огня, воздуха и воды, с помощью вторых — только кубы, из которых состоит земля. По этой причине три первые стихии могут переходить друг в друга путем перестройки соответствующих частиц, Земля же всегда остается Землей. Исходя из этих предпосылок Платон рассматривает в «Тимее» ряд физических процессов, относящихся (если пользоваться современной терминологией) к области фазовых превращений вещества»<sup>65</sup>.

Заканчивая анализ платоновской «физики», П.П. Гайденко следующим образом резюмирует его специфику: «Платон не считает научно достоверным такой род знаний о природе, какой назывался «физикой» в его время и был представлен в теориях натурфилософов — Фалеса, Анаксимена, Эмпедокла, Анаксагора, Демокрита и др. Платон в «Тимее» делает попытку выделить в природном мире все то, что может быть предметом изучения математики и тем самым впервые в истории строит в сущности вариант математической физики. Платон искал посредствующее звено между числом и геометрическим объектом, и он нашел его — эту посредствующую реальность он увидел в «пространстве» ...»<sup>66</sup>. Пространство как сфера геометрии для Платона, — это фактически геометрическое пространство, которое не является ни идеальным в строгом смысле этого слова, ни чувственным, а расположено между идеями и чувственным миром. Геометрические объекты своего рода «кентавры», где соединены вместе несовместимые части. Они отчасти являются идеальными, но в то же время — воплощенными в материи идеальными образованиями. Мы сказали бы сегодня, что это «бледные» отражения реальных вещей, но для Платона они, напротив, отражения идей.

<sup>65</sup> Рожанский И.Д. Указ. соч., с. 236.

<sup>66</sup> Гайденко П.П. Эволюция понятия науки. Становление первых научных программ. М.: Наука, 1980, с. 249.

Ярким воплощением платоновской методологической установки явилась евклидова геометрия. Не случайно современные методологи науки квалифицируют «Начала...» Евклида (ок. 300 г. до н.э.) не как чисто математическую, а как фактически физическую теорию. Эта теория на многие годы стала образцом дедуктивного построения научной теории. Такую популярность имела, пожалуй, лишь Библия — в течение многих веков, начиная со времени античности, она подвергалась многочисленным комментариям, переводилась на различные языки<sup>67</sup>.

Один из первых ее комментаторов, Плотин, следующим образом характеризует цели сочинения Евклида: «... Начала содержат неопровержимое и совершенное изложение самого научного рассмотрения предмета геометрии. вопрос о цели этого сочинения обращаясь к самому предмету, мы скажем, что наука геометрия в целом занята простыми телами, начиная с простых, а завершается разнообразием их строения, причем осуществляя каждое в отдельности, она в то же время излагает, как все они вписываются в шар и соотносятся одно с другим. Поэтому некоторые сочли возможным возвести цель отдельных книг к мировому целому и описали пользу, которую они приносят при рассмотрении мироздания. А определяя цель по отношению к тому, кто обучается, скажем, что они — в самом названии, то есть в том, что дать ученику «начала» и усовершенствовать его мысль во всех областях геометрии»<sup>68</sup>. Следует при этом отметить, что ни Евклид ни Прокл нигде не говорят о том, что геометрия — это наука о пространстве. «Она изучает величины, фигуры и их границы, далее геометрия изучает их отношения, то, что с ними случается, а также относительные положения и движения». Существование математических сущностей в пространстве начинает рассматривать как основу геометрии не Евклид, а лишь Декарт. Евклид же помещает платоновы тела не в пространстве, а в шаре. Концепция же так называемого евклидова пространства была развита впервые в эпоху Ренессанса и является выражением антиевклидовского понимания геометрии.

Геометрия шара составляла основу космологических представлений античности. Шар и круг рассматривались как наиболее совершенные фигуры, а надлунный мир — как сфера существования этих идеальных сущностей. Такое представление о шаровидной Вселенной и о круговых орбитах было поколеблено лишь Кеплером, который был вынужден отказаться от круговых орбит, заменив их эллипсами. Этот поистине революционный шаг ему было очень трудно совершить, несмотря на результаты наблюдений, поскольку он находился под влиянием неоплатонизма. Тихо де Браге, известный точностью астрономических наблюдений, систематизировал подробные данные о движении планет. На основе этих данных, которые были в два раза

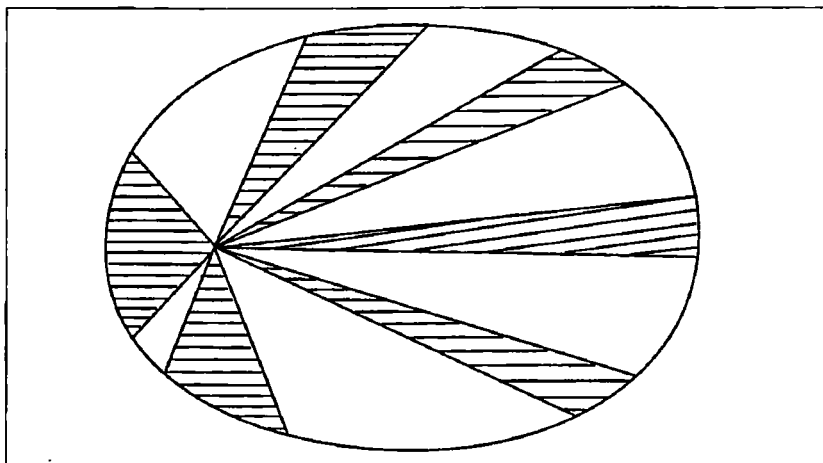
---

<sup>67</sup>Подробнее об этом см.: *Heath T. A History of Greek Mathematics. Oxford: At the Clarendon Press, 1921, p. 354–446.*

<sup>68</sup>*Прокл Диадох. Комментарий к Первой книге «Начал» Евклида. Введение. М.: Греко-латинский кабинет, 1994, с. 171.*

точнее античных, Кеплер выдвинул предположение, что орбиты планет не могут быть круговыми. Он впервые провел точное исследование движения планет, построив и сравнив поверхности, проходимые солнечными лучами вслед за движением планеты. Особенно сложным было объяснение с помощью комбинации круговых орбит (эпициклов, эксцентриков и т. д.) видимого движения Марса. Кеплер многократно перепроверял данные наблюдений за движением Марса и все время получал одни и те же результаты. В одном из своих писем он даже написал о том, что если бы орбиты планет были эллиптической формы, то движения планет были бы объяснены уже Архимедом и Аполлонием. Кеплер продолжает работу, собирает множество частичных данных, но все еще не получает общую картину. Отказаться от убеждения, что орбиты являются круговыми, он пока не решает, — так глубока была вера в исходную античную установку. Однако систематизация хаотических данных наблюдения больше не оставляет сомнения в том, что Марс движется по эллиптической орбите, Солнце находится в фокусе эллипса (первый закон Кеплера). Если поверхности  $A$  и  $B$  одинаковы, то и время прохождения отрезков  $T_1$  и  $T_2$  будет одинаковым — и наоборот, поскольку вблизи Солнца планеты движутся быстрее (второй закон Кеплера — см. рис. 24).

Путь к этому простому и элегантному решению был долгим, по крайней мере, с современной точки зрения. Вызывают удивление усердие, изобретательность и особое математическое чутье Кеплера, особенно если сравнить его записи с журналом наблюдений Тихо де



**Рис. 24.** Второй закон Кеплера, называемый «законом площадей»

Заштрихованные площади, описанные радиусом-вектором планеты в равные промежутки времени, равны между собой. Ясно видно, что планета движется быстрее (проходит большую часть эллипса), когда находится ближе к Солнцу, помещающемуся в одном из фокусов эллипса (этот эллипс дает сильно преувеличенное изображение орбиты)

Браге, в котором царил полный хаос. На первый взгляд может показаться не такой уж большой заслугой доказательство того, что орбиты планет представляют собой не круг, а лишь немного отличающийся от круга эллипс, поскольку большинство планетных орбит имеют весьма небольшое расстояние между фокальными точками описываемых ими эллиптических форм. «Однако огромное достижение Кеплера и состояло в том, что он одним утверждением об эллипсе навсегда разбил считавшееся две тысячи лет аксиомой положение, что возвратное движение планет должно быть описано с помощью равномерного кругового движения, и тем самым расчистил путь для нового развития учения о небесных явлениях. И нет ничего сложнее в науке, чем устранить такие глубоко укоренившиеся представления»<sup>69</sup>.

Еще одно вековое заблуждение — единственность евклидовой геометрии как геометрии плоскостей — было опровергнуто значительно позже гиперболической геометрией Лобачевского и эллиптической геометрией Римана (например, 5-й постулат о параллельности двух прямых, — в гиперболической геометрии таких прямых может быть бесконечное множество, а в эллиптической — вообще ни одной, а прямая становится частью большого круга), поскольку неклассические геометрии основаны уже не на плоскости, а на криволинейных поверхностях<sup>70</sup>.

Основания геометрии, точнее, различных типов геометрий, наиболее полно исследовал в начале XX в. Давид Гильберт, выявивший логическую структуру геометрической теории и показавший, что могут быть построены самые различные типы пространственной геометрии<sup>71</sup>.

Гильберт проанализировал концептуальную структуру геометрии и показал, что ее основу составляет небольшое число основополагающих предложений, принимаемых без доказательства, — аксиом, из которых с помощью определенных логических принципов строится вся теория в целом. Такого рода аксиоматические структуры составляют костяк многих современных научных теорий (статистика, механика, термодинамика и др.), но самым простым и древнейшим примером является классическая элементарная геометрия Евклида<sup>72</sup>. Гильберт выделил пять групп аксиом: отношения, порядка, конгруэнтности, параллельности, непрерывности, — основанные на понятиях «лежать между», «конгруэнтный (равный)», «параллельный», «непрерывный». Эти понятия характеризуют связи между тремя различными группами систем предметов — точками, прямыми и плоскостями. «очки называются также элементами линейной геометрии, точки и прямые —

<sup>69</sup> Caspar M. Johannes Kepler. Stuttgart: W. Kohlhammer Verlag, 1958, S. 152–156.

<sup>70</sup> Schmitz M. Euklids Geometrie und ihre mathematiktheoretische Grundlegung in der neoplatonischen Philosophie des Proklos. Würzburg: Königshausen & Neumann, 1997, S. 167, 168, 170, 375.

<sup>71</sup> Hilbert D. Grundlagen der Geometrie. Stuttgart: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft m.b.H., 1956.

<sup>72</sup> Hilbert D. Wissen und Mathematisches Denken. Vorlesung 1922/23. Überarbeiteter Nachdruck. Cöttingen: Mathematisches Institut, 1988, S. 81–83.

плоскостной геометрии, а точки, прямые и плоскости — пространственной геометрии. Далее Гильберт проанализировал противоречивость и взаимную независимость аксиом геометрии. Непротиворечивость означает, что аксиомы пяти названных групп не находятся в противоречии друг с другом, т. е. с помощью логического вывода невозможно из одного и того же вывести факт, который противоречил бы одной из этих аксиом. Что касается независимости аксиом, то оказывается, что никакие существенные части названных групп аксиом не могут быть выведены логическим способом из каждый раз предъявляемой группы данных аксиом. Гильберт установил, что для первых трех групп аксиом легко найти доказательство их взаимной независимости, а аксиомы первой и второй групп составляют основу остальных аксиом, поэтому доказательство должно концентрироваться вокруг независимости третьей, четвертой и пятой групп. Доказывая независимость аксиом параллельности, Гильберт показывает, каким образом возможны различные виды неевклидовой геометрии, и анализирует их основания<sup>73</sup>. Однако все они имеют аксиоматическую структуру, аналогичную структуре евклидовой геометрии. И именно в евклидовой геометрии можно найти первую аксиоматическую теорию, в которой объединяются многочисленные закономерности, касающиеся положения, порядка и величины пространственных тел и плоских фигур, и которая исходит из небольшого числа основополагающих понятий и принципов.

Самый простой пример — топология линии, основанная на понятии «расположенный между». Основу этого понятия составляет неявно определенная аксиома о том, что между двумя точками всегда располагается одна и только одна точка. Но одного этого факта недостаточно, чтобы определить топологию линии. Необходимы еще следующие утверждения:

- если  $C$  расположено между  $A$  и  $B$ , а  $B$  — между  $A$  и  $C$ , то  $B$  расположено между  $A$  и  $D$ ;
- если  $B$  и  $C$  расположены между  $A$  и  $D$ , то  $C$  расположено или между  $A$  и  $B$ , или между  $B$  и  $D$  (одно исключает другое), т. е. сказано все необходимое о линии, и из этого выводятся остальные утверждения о линии. Это простейшее аксиоматическое построение, основанное на понятии «между», находит применение в самых различных исследованиях, но в силу его простоты ученые применяют его неосознанно<sup>74</sup>.

Д. Гильберт также показал, что евклидова геометрия является в действительности физической теорией и что могут быть построены разные варианты непространственной геометрии, например в учении об электричестве или учении о наследовании генетических признаков мухами-дрозофилами, где вместо пространственных фигур используются другие признаки (цвет глаз, пятна или их отсутствие на тельце,

---

<sup>73</sup> Hilbert D. Grundlagen der Geometrie. Stuttgart: B.G. Teubner Verlagsgesellschaft m.b.H., 1956, S. 2, 34, 38.

<sup>74</sup> Hilbert D. Wissen und Mathematisches Denken. Vorlesung 1922/23. Überarbeiteter Nachdruck. Göttingen: Mathematisches Institut, 1988, S. 84–84.

форма крыльев и др.), но теория строится исходя из той же аксиоматической структуры и выделенных Гильбертом логических отношений между понятиями. «Однажды Гильберт сказал: «Можно в любое время вместо «точек, линий, плоскостей» поставить «столы, стулья, табуретки»»<sup>75</sup>.

Что же касается дрозофилы, то она обычно бывает:

a — серая (тельце),

b — красноглазая,

c — без пятен (на тельце),

d — с нерасщепленными крыльями (кругообразная),

e — с длинными крыльями (длиннокрылая).

Однако появляются мутанты со следующими признаками:

A — желтая,

B — белоглазая,

C — с темными пятнами,

D — с расщепленными крыльями,

E — с комковатыми крыльями.

Эти 5 признаков обычно взаимосвязаны, т. е. если муха желтая, то она будет обязательно белоглазой, с темными пятнами на тельце, расщепленными и комковатыми крыльями. Однако при скрещивании нормальных мух с мутантами в их потомстве может отмечаться иной набор указанных признаков, причем потенциально вполне определенный. Например, обозначим эти потенциальные отклонения для любых двух признаков следующим образом: PA B, PB C, PA C ... Эти числа имеют одно интересное арифметическое свойство: что сумма двух равна третьему в следующем смысле:  $PA B + PB C = PA C$ . Если использовать для C обозначение «между» и применить здесь все три аксиомы евклидовой геометрии, то появляется возможность ввести линейный порядок для каждого наследуемого признака. Однако здесь выполняются не только эти чисто топологические аксиомы, но и аксиомы линейной конгруэнтности: числа «P» имеют при этом характер расстояний на линии. Тогда, если мы выберем расстояние между свойствами «желтая» (A) и «белоглазая» (B) в качестве единицы, то, например, BC будет равно 2,1, AC = 3, таким же образом CD = 3, BD = 5, AD = 6 и т. д. Это доказывает, что выявленные в евклидовой линейной метрике отношения описывают действительные природные закономерности<sup>76</sup>.

Гильберт делает из этого рассуждения следующий вывод: «Геометрия является ничем иным, как ветвью, причем древнейшей ветвью физики; геометрические истины представлены лишь несколько иначе или другого рода, чем физические»<sup>77</sup>. По его мнению, простейшие геометрические положения доказуемы на опыте, поэтому пифагорейские тезисы и ньютоновские законы тяготения имеют один и тот же характер, а известные с древних времен и изучаемые в школе утверждения элементарной геометрии и закон взаимодействия масс — не только утверждения одного и того же характера, но лишь части того

<sup>75</sup> Lewi F. W., Hilbert D. Die Vollendung der klassischen und der Beginn der modernen Mathematik. In: Forscher und Wissenschaftler im heutigen Europa. Hamburg: Gerhard Stalling Verlag, 1955, S. 341.

<sup>76</sup> Hilbert D. Указ. соч., S. 85–86.

<sup>77</sup> Там же, S. 89.



же самого закона. Это еще раз подчеркивает огромное значение евклидовой геометрии для развития всей последующей науки, хотя и противоречит утверждениям Платона и его последователей о том, что геометрия никак не связана с чувственным восприятием.

Геометрия возникла из практических нужд будучи первоначально лишь собранием искусственных приемов для решения практических задач: «...согласно свидетельству наибольшего числа исследователей, геометрия впервые открыта у ЕГИПТЯН и возникла она от измерения земельных участков: египтянам она была необходима, потому что разливы Нила всякий раз уничтожали установленные границы»<sup>78</sup>. Впоследствии в Древней Греции геометрия приобрела характер теоретической науки, поскольку возникла иная задача — систематизация накопленных практических знаний и методических приемов решения конкретных задач. И наконец, через много столетий геометрия опять вернулась к практике посредством своих приложений в физике и механике. Эту ситуацию хорошо описал Карл Гемпель: «В качестве примера полностью аксиоматизированной теории, которая имеет фундаментальное значение для науки, рассматривается геометрия Евклида. Ее развитие в качестве «чистой геометрии», т. е. как неинтерпретированной аксиоматической системы, является совершенно независимой от ее интерпретации в физике и ее использования в навигации, топографических работах и т. д. Физическая геометрия, т. е. теория, в которой идет речь о пространственных аспектах физических феноменов, состоит из системы чистой геометрии в силу того, что существует специфическая интерпретация этой корневой системы в физических терминах». В качестве физической пары по отношению к евклидовой геометрии выступает физическая система, в которой величина объектов является незначительной по сравнению с их удаленностью друг от друга. Тогда точки могут быть интерпретированы и как булавочные головки или узелки на нитке, и как планеты, звезды и даже целые галактики, где прямыми, их соединяющими, являются лучи света. Такого рода интерпретации преобразуют постулаты и теоремы чистой геометрии в предложения физики. Сегодня нам известны не только евклидова форма геометрии, но и ее различные так называемые неевклидовы варианты, которые также нашли свою физическую интерпретацию, но уже в общей теории относительности<sup>79</sup>.

*Философия природы Аристотеля и физическая картина мира;  
реализация аристотелевской геоцентрической картины мира  
в «Альмагесте» Птолемея;  
древнегреческая астрономия как раздел математики*

<sup>78</sup> Прокл Диадок. Комментарий к Первой книге «Начал» Евклида. Введение. М.: Греко-латинский кабинет, 1994, с. 161.

<sup>79</sup> Hempel C. Grundzüge der Begriffsbildung in der empirischen Wissenschaft. Düsseldorf: Bertelsmann Universitätsverlag, 1974, S. 37, 38, 39.

Аристотель (384–322 до н.э.), ученик Платона, подверг критике его учение об идеях, прежде всего разделив естествознание как учение о качественной природе и математику как учение о количественном. «Предметом математики является не определенный класс чувственно-воспринимаемых объектов, а род свойств, присущих любым объектам, — именно те свойства, которые имеют отношение к категории количества. Под категорию количества подпадают, во-первых, числа, во-вторых — пространственно-протяженные величины. Количественные свойства математика изучает, отвлекаясь от всех чувственно-воспринимаемых свойств предметов, поэтому математические истины познаются не с помощью органов чувств, а с помощью разума. Этим определяются особенности математического метода: математика исходит из определений и аксиом, т. е. бесспорных положений, из которых с помощью логических умозаключений выводятся теоремы и другие следствия»<sup>80</sup>. Математика имеет дело с предметами, суть которых находится не в самих себе, а в другом, и которые не существуют отдельно. Предметы геометрии — точки, линии, плоскости — не имеют реального бытия, а представляют собой продукт мысленного выделения определенного аспекта физического мира<sup>81</sup>. Физика занимается предметами, «имеющими начало движения в самих себе», а математика — это «некоторая умозрительная наука и занимается предметами хотя и неизменными, однако не существующими отдельно»<sup>82</sup>. Физика, напротив, имеет предметом «исследование формы, поскольку она внутренне присуща определенной материи», т. е. изменчивый, гибнущий и рождающийся подлунный мир, «изучает движение как нечто внутренне присущее движимому (отличие от механики) и как нечто весьма незавершенное (отличие от космической теологии)»<sup>83</sup>. Анализ движения — задача физики, но не математики. «... По Аристотелю геометрия отвлекается от движения; столь же чужды понятию движения и другие отрасли математики. Понятие переменной математической величины было принципиально невозможно в математике Аристотеля»<sup>84</sup>. Его физика оставалась качественной и оторванной от математики. Аристотель пишет: «математической точности можно требовать не для всех предметов, а лишь для нематериальных. Вот почему этот способ не подходит для рассуждающего о природе, ибо вся природа, можно сказать, материальна»<sup>85</sup>.

По Аристотелю уже в чувственном знании заложены основы для возникновения понятий. Он считал, что идеи по своему бытию предшествуют чувственным вещам лишь логически и не могут существовать

<sup>80</sup> Рожанский И. Д. Древнегреческая наука. В кн.: Очерки истории естественнонаучных знаний в древности. М.: Наука, 1982, с. 242.

<sup>81</sup> Гайденок П. П. Эволюция понятия науки. Становление первых научных программ. М.: Наука, 1980, с. 355.

<sup>82</sup> Аристотель. Метафизика, XI, 7, 1064 а, 30–35.

<sup>83</sup> Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента от античности до XVII в. М.: Наука, 1976, с. 74, 75.

<sup>84</sup> Зубов В. П. Аристотель. М.: АН СССР, 1963, с. 127.

<sup>85</sup> Аристотель. Метафизика, II, 995 а.

отдельно от предметов природы. Доказывая несостоятельность платоновского учения об идеях, Аристотель исходит из следующих соображений:

1. Теория Платона не облегчает, а усложняет понятие бытия. Последователей Платона он сравнивает с людьми, которые, убедившись, что подсчет небольшого количества вещей им не под силу, увеличили бы это количество и тогда только начали бы считать. Учение об идеях требует существования отдельной идеи для каждой отдельной вещи и для каждого рода и вида вещей. Получается, что идей гораздо больше, чем единичных, чувственных вещей.

2. По мнению сторонников теории идей, идеи есть везде, где есть знание общего, идеи будут существовать для всего, что составляет предмет науки. Но в таком случае должны существовать идеи отрицательного, уничтоженного, несуществующего, что противоречит самой теории идей.

3. Признавать, что вещи — копии идей, т. е. идеи — их образцы и все остальное сопричастно им — значит, пустословить, используя поэтические метафоры. Образец необязательно должен быть реальным объектом — можно подражать и тому, что существует не в реальности, а в мысленных образах.

4. Невозможно, чтобы вещь и ее сущность были изолированы друг от друга. Если идеи действительно являются сущностью вещей, то они не могут существовать вне этих вещей. Если же они существуют вне вещей, то они не могут быть их сущностями и т. д.

Аристотель подчеркивает далее, что относительно идей можно привести много возражений.

Универсальная философская система, созданная Аристотелем, была синтезом всех достижений предшествующей греческой науки. Как известно, Фалес началом всего считал воду, Анаксимен — беспредельный воздух, Гераклит — вечно живой огонь (все вообще образуется из «погасания огня» — земля, вода, воздух). Эмпедокл (483 — между 439 и 420 до н.э.) пытался создать систему, которая должна была синтезировать воззрения более ранних древнегреческих натурфилософов, объявив началом и основой всего сущего все четыре стихии (землю, воду, воздух, огонь), которые он считал «корнями всех вещей», несводимыми друг к другу и, как и Парменид, неизменными. Вещи же окружающего мира он, как и Гераклит, признавал изменчивыми и текучими, переходящими сочетаниями (в различных пропорциях) этих стихий, как и все мироздание в целом. Истинным бытием обладает лишь единичная вещь — материя, из которой возникает единичная вещь, но чтобы стать вещью, материя должна принять форму. Аристотель вслед за Эмпедоклом и Платоном развивает концепцию об основных элементах мира. По его мнению, каждый из этих элементов обладает минимум двумя противоположными свойствами: земля является сухой и холодной, вода — мокрой и холодной, воздух — мокрым и теплым, огонь — сухим и теплым; сочетание же взаимоисключающих свойств, т. е. горячего и сухого, холодного и влажного — невозможно. «В отличие от четырех «корней» Эмпедокла, стихии

Аристотеля могут, в принципе, переходить друг в друга. Помимо этого, стихии могут вступать во всевозможные сочетания друг с другом, образуя разнообразные вещества, называющиеся у Аристотеля подобчастными анализируя различные аспекты термина «природа», Аристотель указывает, что природой называют и то, из чего возникла данная вещь (материальная первооснова), и то, чем она становится в процессе возникновения — развития. «В первом же и основном смысле, — пишет Аристотель, — природою является сущность, а именно сущность вещей, имеющих начало движения в себе, как таковых» («Метафизика», V, 4. 1015a 15). Природа — это внутренне присущий вещам принцип, закон движения и развития. «Существенно новым у Аристотеля, по сравнению с его предшественниками, было использование идеи природы для объяснения механических форм движения»<sup>86</sup>.

Согласно аристотелевской системе мира шарообразная Вселенная ограничена сферой неподвижных звезд. Внутри ее, в любом ее пункте существует материя. Вакуум (или пустое пространство) не только не существует, но и является с точки зрения этой системы просто абсурдом. Материя и пространство нераздельны, представляя собой одно и то же. За пределами же аристотелевской Вселенной не существует вообще ничего — ни материи, ни пространства. Этот универсум является закрытым и исчерпывающим.

Внутреннее строение этого универсума описывается Аристотелем достаточно подробно. Он представляет собой множество движущихся сфер, движение которых обусловлено соприкосновением и трением. Основные четыре земных элемента (огонь, воздух, вода и земля) никогда не существуют в чистом виде — все тела подлунного мира являются смесью этих элементов. Надлунный мир заполнен эфиром, пятым нестареющим элементом. Точнее, из него состоят внешние кристаллические вращающиеся сферы надлунного мира. Вселенная, по убеждению Аристотеля, является не гомогенной, а совокупностью «естественных мест», которые стремятся занять перечисленные элементы. Естественным местом Земли как наиболее тяжелого элемента является центр Вселенной, наиболее же легкий ее элемент — огонь — стремится к периферии. Между ними располагаются соответственно естественные места воздуха и воды. Отдельные тела, если им ничто не мешает или если на них не воздействует никакая сила, также стремятся занять свои естественные места, которые определяются преобладанием в них соответствующих элементов — тяжелые тела, в которых преобладают земля и вода, естественно стремятся вниз, а легкие тела, в которых преобладают воздух и огонь, — вверх. Таким образом, аристотелевская теория движения неотделима от представления о конечном и полностью заполненном пространстве.

В чем же заключается суть аристотелевского учения о движении? По Аристотелю, все, что движется, является движимым чем-то иным. Другими словами, для движения требуется наличие двигателя, который должен быть расположен в непосредственной близости от движимого, поскольку передача движения на расстоянии невозможна. В то же

<sup>86</sup> Рожанский И.Д. Указ. соч., с. 239–240.

время предмет, на который не воздействуют никакие силы, находится в состоянии покоя. Аристотель развивает учение о так называемом естественном месте, согласно которому существуют естественные и насильственные движения.

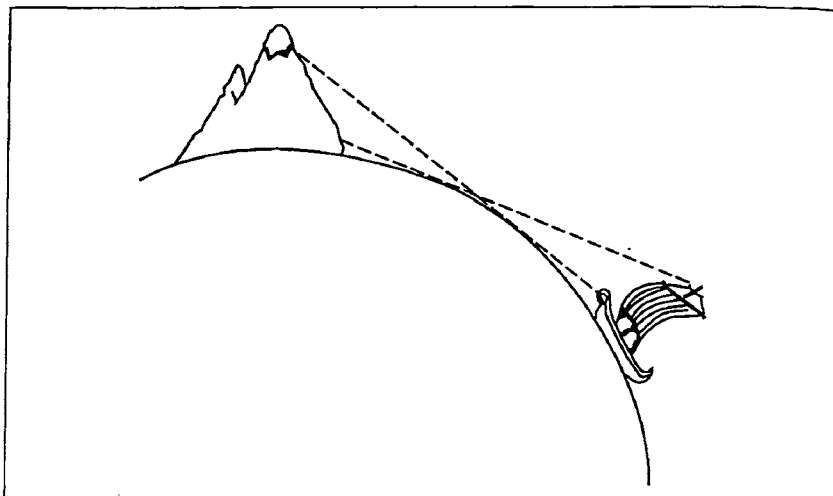
Движение называется естественным, если оно не имеет какой-либо видимой внешней причины. В этом случае каждый элемент универсума имеет свое место. Эти рассуждения подтверждаются повседневным опытом. Физические тела движутся только в том случае, если о них ударяются другие физические тела, обычно же они находятся в состоянии покоя. Место или положение у Аристотеля имеют физические свойства. В «Физике» он, например, пишет: «Ведь каждое из них (тел), если ему не препятствовать, несется в свое собственное место, одно вверх, другое вниз ...»<sup>87</sup>.

Это представление о шарообразной Вселенной является лишь небольшим шагом вперед от древнеегипетской модели сводчатых вместилищ, представлявших собой две чаши, одна из которых олицетворяла долину Нила, а другая — симметричный ей небесный свод. Народы, живущие в других климатических условиях, унаследовав эту модель, невольно лишили ее конкретности. Так возникла абстрактно-геометрическая модель, в пользу которой приводились и весьма существенные эстетические аргументы. Например, Платон в «Тимее» подчеркивает совершенство кругообразных фигур. Это относится и к шаровидному небосводу, вместе с которым вращаются созвездия, и к шарообразности земной поверхности, о чем свидетельствует как повседневный опыт (рис. 25), так и наблюдения за лунными затмениями (появление кругообразной тени на лице луны). По тем же эстетическим соображениям симметрии Земля помещалась в центре шаровидной Вселенной (рис. 26, 27).

Необходимо отметить, что эта модель до сих пор используется в теории и практике навигации и картографии, хотя стала значительно сложнее. Многие руководства по навигации начинаются следующими словами: «Для наших целей достаточно допустить, что Земля представляет собой небольшой шар, покоящийся в центре существенно большей вращающейся звездной сферы». В данном случае эта модель используется в науке независимо от того, соответствует она реальности или нет. Вопрос об истинности такого рода схемы-модели имеет отношение не к ее предсказательным и логическим возможностям, а лишь к психологическим проблемам веры или неверия в нее ученых. В древности все люди были убеждены, что звезды — это световые пятна на гигантском шарообразном небосводе, и в то время данная мыслительная конструкция играла гораздо более важную роль в обществе. Она была важна не только для самой науки, так как систематизировала полученные из наблюдения представления и давала возможность получать новые знания, не обращаясь к наблюдению, но и для общественной жизни. Именно благодаря вере в ее истинность, в то, что проплыть вокруг Земли возможно, Христофор Колумб предпринял попытку кругосветного путешествия. И уже одно это является убедительным свидетельством плодотворности научной картины мира, ее эффективности как руководящей линии исследования<sup>88</sup>.

<sup>87</sup> Аристотель. Физика, 208b.

<sup>88</sup> См.: Kuhn T. Die kopernikanische Revolution. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.



**Рис. 25. Античное и современное обоснование шарообразности Земли: наблюдатель у подножия горы может видеть лишь кончик мачты, в то время как находящийся на вершине горы наблюдатель может видеть всю мачту и часть палубы плывущего корабля**

*(Рисунок взят из книги: Kuhn T. Die kopernikanische Revolution. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)*

Таким образом, полученная модель выполняла тогда функцию научной картины мира и представляла собой мыслительную схему выведенную из наблюдений. Однако в эту модель не укладывается наблюдаемое с Земли возвратное движение планет (рис. 28).

Выдвигались и альтернативные модели Вселенной, например пифагорейцы Гераклит и Аристарх предложили гелиоцентрическую модель. Архимед следующим образом описывает модель Аристарха: «... по представлению некоторых астрономов, мир имеет вид шара, центр которого совпадает с центром земли ... Но Аристарх Самосский в своих «Предложениях», написанных им против астрономов, отвергая это представление полагает, что неподвижные звезды и солнце не меняют своего места в пространстве, что земля движется по окружности около солнца, находящегося в ее центре, и что центр шара неподвижных звезд совпадает с центром солнца ...»<sup>89</sup>. Несколько необычную модель предлагал Филолай — в центре мира помещался огонь, а вокруг него вращались Солнце со всеми планетами и Луной впридачу и Земля с Противоземлей. Эвдокс объяснял сложное движение планет с помощью движения нескольких круговых сфер. Однако, как подчеркивает Т. Кун, все эти модели были отклонены тогдашним научным сообществом, так как противоречили опыту, чувственному

<sup>89</sup> Архимед. Исчисление песчинок в пространстве, равном шару неподвижных звезд (псаммит). М.-Л.: Государственное технико-теоретическое издательство, 1932, с. 68.

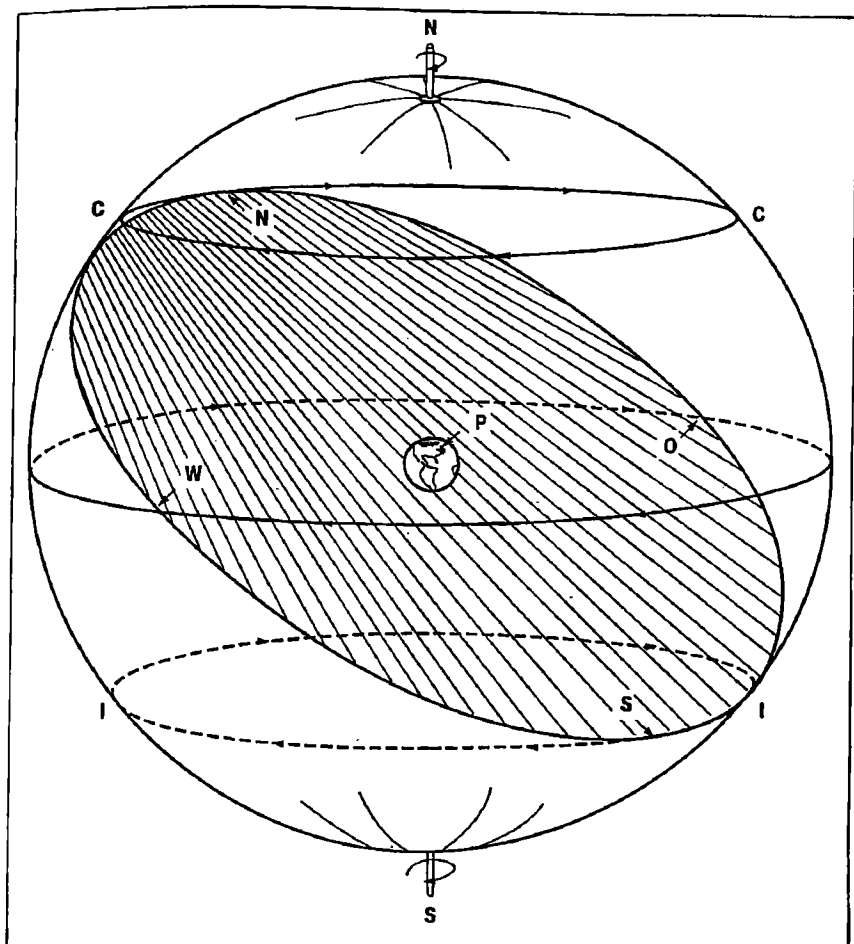


Рис. 26. Модель двухшарового универсума

(Рисунок взят из книги: Kuhn T. Die kopernikanische Revolution. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

представлению о строении Вселенной, а также здравому смыслу, с точки зрения которого абсурдно представлять Землю равной другим небесным телам.

Итак, главным камнем преткновения оставались лишь блуждающие звезды — планеты, движение которых не вписывалось в общую стройную картину круговых орбит. Чтобы спасти эту модель, потребовалось прибегнуть к ряду геометрических ухищрений — ввести систему эпициклов и деферентов (рис. 29). Эта система эпициклов и деферентов должна была помочь описать движение планет лишь

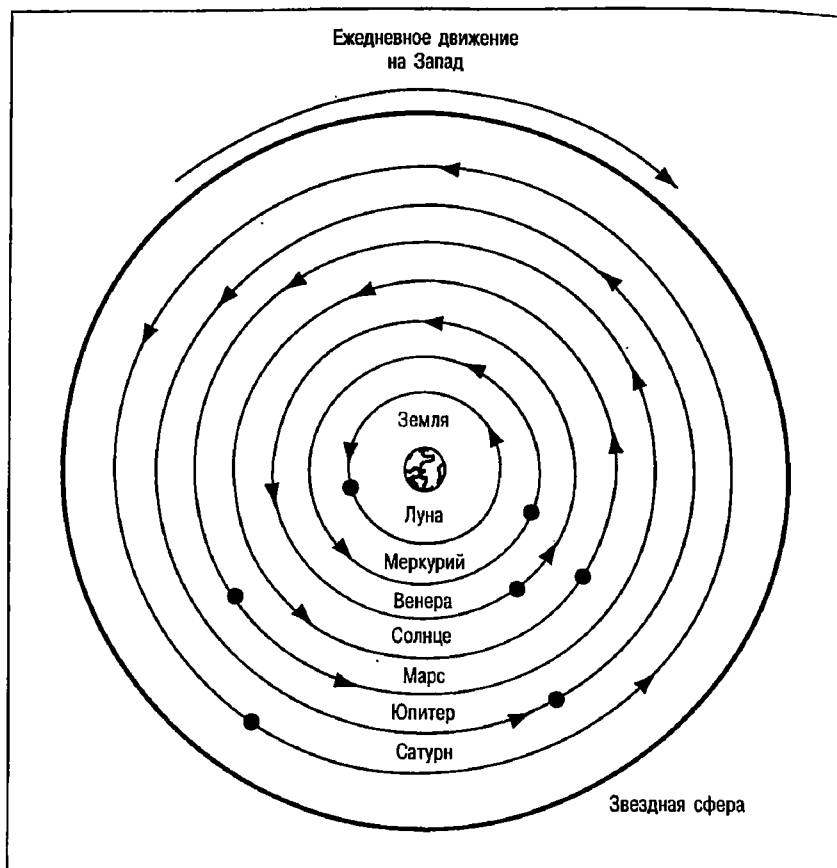


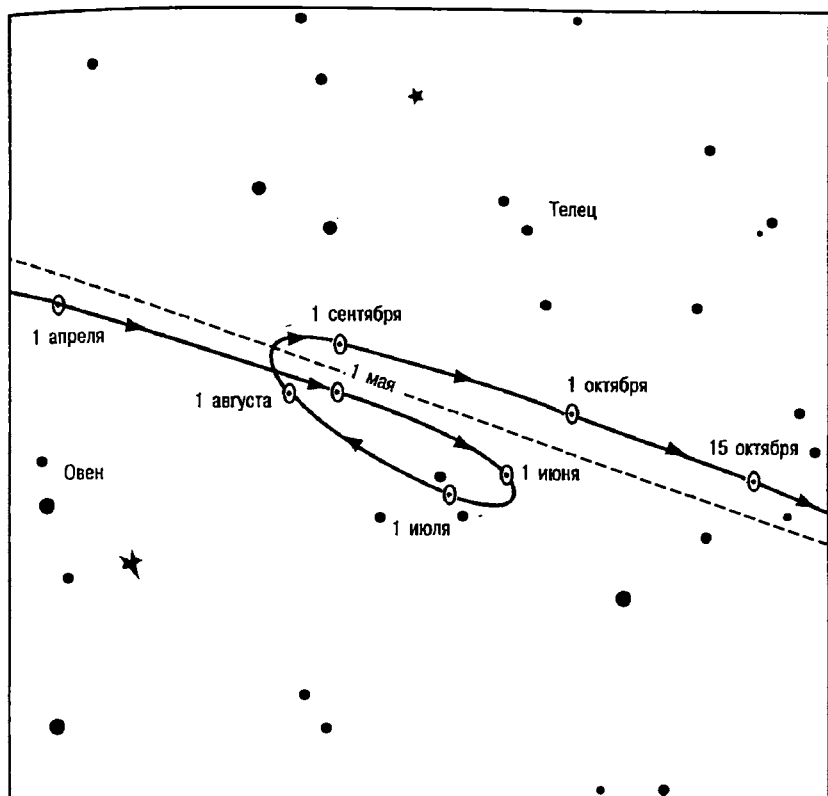
Рис. 27.

(Рисунок взят из книги: Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

относительно звездного шара. На рис. 29 показаны типичные деферент и эпицикл (Е — Земля, Р — планета). Планета вращается по кругу (эпициклу), центр которого, в свою очередь, вращается вокруг Земли. Этот второй круг и называется деферентом. В результате сложения двух круговых движений возникает ленточное движение планеты через эклиптику — зодиакальные созвездия, видимое наблюдателем с неподвижной Земли.

Так называемые большие эпициклы помогали описать возвратное движение планет, а малые эпициклы были необходимы для корректировки небольших расхождений между теорией и практикой (рис. 30). Все версии птолемеевой системы вплоть до Коперника, как указывает Т. Кун, содержали в себе пять больших эпициклов, число же малых





**Рис. 28. Видимое с Земли возвратное движение планеты Марс**  
 (пунктирная линия показывает эклиптику, а сплошная — видимую орбиту планеты  
 в апреле — октябре в районе созвездий Овна и Тельца)

(Рисунок взят из книги: Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

эпициклов в них сильно различалось<sup>90</sup>. Античные астрономы использовали еще одно вспомогательное средство — эксцентр, т. е. смещение центра вращения деферента из центра Земли в фиктивный геометрический центр, находящийся рядом с ним.

На рис. 31 показаны различные способы использования этого приема. Эксцентр *О* может располагаться на некотором расстоянии от Земли (*Е*) и применяться для описания движения Солнца (*С*; рис. 31а)

<sup>90</sup> Коперниканская система затронула своей реформой лишь большие эпициклы, устранив их. Однако она оставалась почти такой же сложной как и птолемеевская система, так как Копернику, как и его предшественникам, настоятельно требовались малые эпициклы (Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980).

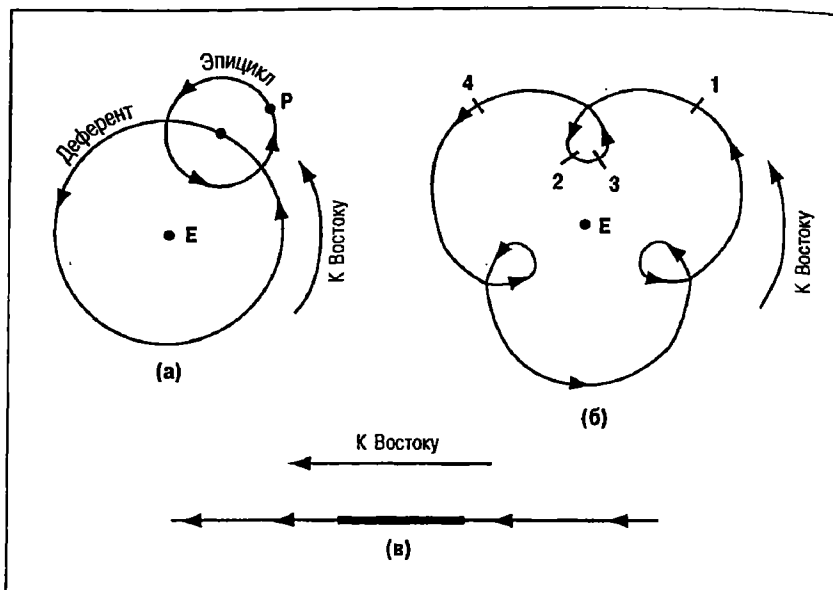


Рис. 29.

(Рисунок взят из книги: Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

или быть помещен на небольшой деферент (рис. 31б), или на второй малый эксцентр (O; рис. 31в). Эти оба способа представления движения планет — помещение малого эпицикла на деферент или на эксцентр — в геометрическом отношении являются эквивалентными.

Еще одно вспомогательное средство, используемое в античности для описания видимого нерегулярного движения небесных тел с помощью системы круговых движений, — эквант<sup>91</sup>. Солнце (S) движется по геоцентрическому кругу с неравномерной скоростью, а угол (а) меняется при этом во времени равномерно (рис. 32).

Нужно иметь, однако, в виду, подчеркивает Кун, что приведенные математические вспомогательные средства были разработаны не одновременно и их разработчиком был не только Птолемей. Но его вклад, естественно, является наиболее существенным.

<sup>91</sup> Это последнее вспомогательное средство для астрономических расчетов, как отмечает Кун, имеет особое значение, поскольку именно оно в первую очередь послужило для Коперника толчком для того, чтобы отвергнуть из эстетических соображений систему Птолемея и начать поиск совершенно нового метода проведения астрономических расчетов. Он продолжает, как и его предшественники, использовать эпициклы и эксцентры, но экванты отвергает со всей решительностью. (Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

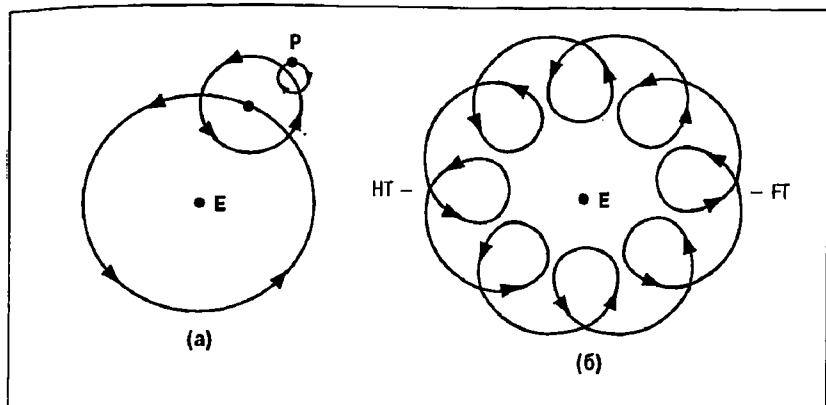


Рис. 30.

(Рисунок взят из книги: Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

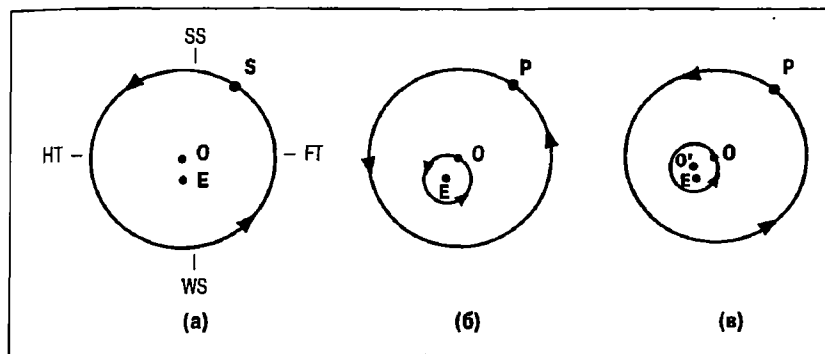
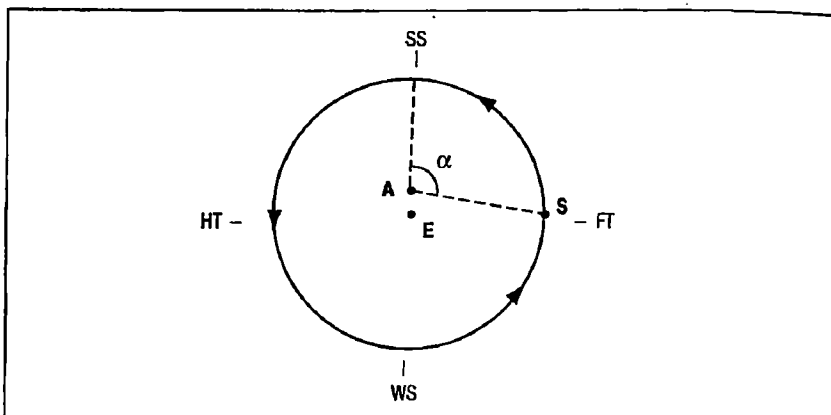


Рис. 31.

(Рисунок взят из книги: Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

«Альмагест» Птолемея, который объединил наивысшие достижения античной астрономии, был первым систематическим математическим исследованием, наиболее полно, детально и количественно описавшим все небесные движения. В основном он состоял из математических таблиц, диаграмм, формул и доказательств, сложных расчетов и бесчисленных наблюдений и на долгие годы (вплоть до Коперника) стал образцом синтетической астрономической теории, которая была фактически математической, а не физической. Птолемей следует в своем мировоззрении Аристотелю, считая, что все сущее состоит из материи, формы и движения. Для него, как и для



**Рис. 32.**

(Рисунок взят из книги: Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

Аристотеля, «физика изучает материю и вечно движущуюся природу, а также качества ... относящиеся к разложенным на составные части телам», которые находятся в подлунном мире. Математика же изучает надлунный мир, где господствуют идеальные тела и движения. «Математика, по Птолемею, изучает числа, а также форму, размеры, место, время и другие свойства, выражаемые числами. И не случайно свое сочинение он назвал математическим построением»<sup>92</sup>. В состав физических наук астрономия попадает только после того, как Галилей доказал идентичность надлунных и подлунных явлений, открыв горы на Луне и солнечные пятна на Солнце. Одновременно это позволило использовать математические (геометро-кинематические) представления для описания и объяснения не только небесных, но и земных природных явлений и процессов, что положило начало современному математизированному естествознанию.

Для объяснения процессов движения, изменения, развития, происходящих в мире, Аристотель использует четыре вида причин: материальные, формальные, действующие и целевые, — и следующим образом объясняет суть технической деятельности: «Здание появляется потому, что строительный материал (материальная причина) по существовавшему до того в голове архитектора плану (формальная причина) соединяется (действующая причина) таким образом, чтобы соответствовать запланированной цели (целевая причина) проживания, обучения, отправления церковной службы и т. д.»<sup>93</sup>. Для понимания природных, естественных процессов и технических, искусственных

<sup>92</sup> Бронштейн В. А. Клавдий Птолемей. М.: Наука, 1988, с. 43.

<sup>93</sup> Kraft F. Technik und Naturwissenschaft in Antike und Mittelalter. In: Technik und Wissenschaft (Technik und Kultur, Bd. 3). Düsseldorf: VDI-Verl., 1991, S. 387.

действий Аристотель использует также свое учение о материи и форме. Строитель, например, должен знать и вид дома (форму), и материал (материю), из которого он изготовлен.

По Аристотелю «единым предметом, представляющим собой как сущность природы, так и сущность техники, является движение»; теория насильственных движений и есть, строго говоря, теория техники, отличающаяся от природы тем, что ставит перед собой цели, отличные от природных, и связывает формы с неприсущими им, неестественными для них материями. Для Аристотеля естественное — то, причина чего заключена в самой вещи, что происходит согласно определенному закону либо всегда, либо по большей части. «По природе же существуют животные и части их, растения и простые тела, как-то: земля, огонь, вода, воздух. Все упомянутое очевидно отличается от того, что образовано не природой: ведь каждое из них имеет в самом себе начало движения и покоя, будь то по отношению к месту, увеличению и уменьшению, или качественному изменению. А ложе, плащ и все предметы подобного рода, поскольку они относятся к определенной категории и образованы искусственно, не имеют никакого врожденного стремления к изменению, а имеют его лишь постольку, поскольку им случилось состоять из камня, земли или соединения этих тел. ... То же относится и ко всякому другому изготовленному (предмету): ведь ни один из них не имеет в самом себе начала его изготовления, но это начало находится либо в другом и во вне (например, у дома и всякого другого творения рук человеческих), либо же в них, но не в самих по себе, а когда по совпадению они становятся причиной для самих себя»<sup>94</sup>. И в произведениях природы, и в произведениях искусства есть разумное основание — и те и другие возникают ради известной цели. Если бы дом возникал от природы, то он возникал бы так же, как теперь, — путем искусства. Разница только в том, что произведение искусства создает кто-то другой (мастер), а организм создает себя сам. Но в обоих случаях цель и средство к ее осуществлению остаются те же: «если бы искусство кораблестроения находилось в дереве, оно действовало бы подобно природе, так что если искусству присуще «ради чего», то и природе. В наибольшей степени это очевидно, когда кто-то лечит самого себя: именно на такого человека похожа природа»<sup>95</sup>. Итак, Аристотель, различая существующее по природе, возникшее от природы и возникшее путем искусства, образованное искусством (технэ), стремится выявить общее в них, установить корреляцию естественного и искусственного. «Вообще же искусство (технэ) в одних случаях завершает то, что природа не в состоянии произвести, в других же подражает ей. Если, таким образом... (*вещи* — В.Г.), созданные искусством, возникают ради чего-нибудь, то, очевидно, что и существующие по природе, ибо и в созданных искусством и в существующих по природе (*вещах* — В.Г.)

<sup>94</sup> Аристотель. Физика. М.-Л.: Соцгиз, 1937, II, 1, 192, 8–32.

<sup>95</sup> Там же, II, 8, 199, 30–35.

отношение последующего к предшествующему одинаково»<sup>96</sup>. Он выделяет также и сферу естественно-искусственного: «ведь иные вещи появляются сами собой в таком же точно виде, как и в результате искусственного воздействия, например здоровье»<sup>97</sup>.

В античности технэ, деятельность ремесленника были искусством, а не наукой. Да и само слово «технэ» означало одновременно и технику и искусство. Оно часто и переводится как искусство. Однако искусство по Аристотелю отличается от опыта тем, что опыт — это знание единичного, а искусство — знание общего. Искусство появляется в том случае, «когда на основе приобретенных на опыте мыслей образуется один общий взгляд на сходные предметы»<sup>98</sup>. Люди опыта знают, «что», а люди искусства (технэ) — «почему», т. е. они знают причину. Ремесленники действуют по привычке, не ведая, что творят, подобно неодушевленным предметам. Поэтому более мудры те, кто обладают отвлеченным знанием и знают причины, а также могут научить. Люди же опыта способны лишь действовать, но не способны научить.

Например, считать, что одному человеку помогло какое-нибудь средство и оно же помогло другому и многим по отдельности — это дело опыта. Дело же искусства — убедиться, что при определенной болезни это средство помогает всем людям какого-то одного склада. Но технэ отличается и от науки, так как направлено не на изучение сущего как такового, а на создание вещей. Из часто повторяющихся восприятий возникает опыт, из опыта, предполагающего выработку общего взгляда на сходные предметы, берут свое начало наука и технэ (искусство): «искусство — если дело касается создания чего-то, наука — если дело касается сущего»<sup>99</sup>.

Платон в диалоге «Филеб» различает технэ и науку, систематическое знание, противопоставляя арифметику плотников и чистую арифметику. Плотник просто использует более общее и универсальное арифметическое знание, но некоторые элементы знания плотника не могут быть выражены в языке арифметики, т. е. научно; существуют даже такие элементы знания, которые не могут быть выражены вообще. Аристотелевский анализ плотнического искусства аналогичен<sup>100</sup>. Кроме того, ремесленник-производитель обладает лишь истинным мнением, а не подлинным знанием о достоинствах и недостатках производимого им продукта, — последним обладают те, кто пользуется этим продуктом. Да и изучается технэ прежде всего посредством практической имитации: люди становятся строителями строя. По Аристотелю существует два типа технэ — руководство изготовлением («обладающее материалом») и руководство пользованием («обладает знанием формы»): «действительно, кормчий знает, какова должна быть форма руля, и предписывает ее, кораблестроитель же знает, из какого

<sup>96</sup> Аристотель. Указ. соч., II, 8, 199, 15–20.

<sup>97</sup> Аристотель. О частях животных, I (A), 1, 640a.

<sup>98</sup> Аристотель. Метафизика, I, 1981a, 15–20.

<sup>99</sup> Аристотель. Вторая аналитика, II, 19, 5–10.

<sup>100</sup> Mitcham C. Philosophy and the History of Technology. In: The History and Philosophy of Technology. Urbana, 1969.

дерева и какими приемами может быть (руль) сделан»<sup>101</sup>. Платон выделяет три типа технэ: умение изображения, умение изготовления и умение использования. «Разве живописец знает, какими должны быть поводья и уздечка? Это знают даже не те, кто их изготовил, а лишь тот, кто умеет ими пользоваться, т. е. наездник»<sup>102</sup>. Изготовитель доспехов внимательно выслушивает критику и указания тех, кто владеет технэ битвы в доспехах, а изготовитель флейт — указания музыкантов, какие флейты удобнее для игры.

Итак, наука и техника, физика и технэ несовместимы в области создания артефактов. Однако в плане изучения задача «физики — познать и ту и другую природу», и форму, и до известной степени материю<sup>103</sup>. Поэтому Аристотель часто использует механические аналогии для объяснения функционирования живого организма, например, проводит аналогии между кровообращением и искусственной ирригацией садов, «его костей и жил с работой механизмов-автоматов, их рычагов, колес и веревок, которые, однако, в отличие от организмов, не растут, не меняют форму и не меняются качественно. По его мнению, понять возникновение целесообразно функционирующей вещи (организма, машины) можно только в том случае, если знать, каково ее назначение и какова ее природа, сущность. Понять возникновение дома можно тогда, когда знают, что такое дом, знают его идею ...»<sup>104</sup>. Таким образом, для Аристотеля артефакты являются наряду с организмами (и природными объектами вообще) объектами изучения физики и одновременно объектами техники, искусства, полученными искусственным путем; правда, их изучают в целях не совершенствования техники, ее создания, а лучшего понимания причин, сущего. Однако артефакты и природные объекты вообще у Аристотеля не связаны с математикой. Попытку такого противоестественного как для Аристотеля, так и для Платона соединения техники и математики продемонстрировал прежде всего Архимед.

*Феномен Архимеда как исключение из общего правила разделения науки и техники в древнегреческой научной и технической традиции и создание прецедента «научной техники», ставшего основой будущей программы научного развития техники*

Техническая механика — это дисциплина, которая стала основой научной техники. Однако во времена Аристотеля механические формы движения изучались исключительно с натурфилософской точки зрения — о приложении их к технике тогда не могло быть и речи. Предпосылки для такой связи возникают позже — у александрийских механиков. Лишь к III в. до н.э. относится начало точной механики. Ктесибий конструирует в это время не только различные механические

<sup>101</sup> Аристотель: Физика, II, 2, 194b, 5–10.

<sup>102</sup> Платон. Государство, 10, 601c.

<sup>103</sup> Аристотель. Физика, II, 2, 194b, 20–30.

<sup>104</sup> Зубов В. П. Аристотель. М.: АН СССР, 1963, с. 168–169.

игрушки, но и целый ряд полезных вещей, в частности водяной орган с воздушным насосом и водяные часы. И все же римский архитектор Витрувий (I в. до н.э.) справедливо отмечает, что изобретения Ктесибия были ориентированы не на практические нужды, а на развлечения. Александрийский механик Герон (I в. н.э.) конструирует и описывает множество механизмов, в том числе автомат для открывания дверей храма, которые приводятся в движение воздухом, нагревающимся от находящегося перед храмом жертвенного огня.

Герон Александрийский в своей «Механике», состоящей из двух книг, называет пять простых машин: блок, винт, клин, рычаг и ворот. Однако он не только описывает технические устройства — механизмы, но и рассуждает о геометрии. Другой математик и механик этого времени, Папп Александрийский, следующим образом указывает на связь теории и практики: «Наука механики высоко оценивается философами, да и все математики занимаются ей с особым усердием, поскольку она прежде всего вводит нас в учение о природе материи и элементах мира. Затем она описывает в общем виде места и тяжести тел и их движение в пространстве, исследует не только причины, по которым тела движутся по природе, но учит также, как покоящиеся тела принуждаются к движению из места их естественного нахождения ...»<sup>105</sup>. По Паппу одна часть механики занимается рациональными математическими доказательствами, охватывая геометрию, арифметику, астрономию и физические проблемы, другая же связана с ремеслом и объединяет в себе искусство приготовления металла, обработки деревянных изделий и все, что связано с ручной работой. Он относит сюда изготовление полиспастов, военных метательных машин, а также постройку механизмов, приводимых в движение водой. Таким образом начинают развиваться знания в области технической механики, которые становятся предметом исследования ученых и философов, однако лишь спорадически. Уже прослеживается ориентация науки на практику, но скорее как демонстрация силы научного знания, чем необходимости его регулярного применения в технике и уж, конечно, не для обоснования и подтверждения техническим опытом научных рассуждений. Однако такую связь, в частности геометрии и техники, уже начинает признавать Архимед (287—212 до н.э.) — правда, он был скорее исключением из правила, но именно такие исключения и формировали в истории науки новые подходы и программы, оказавшиеся через много столетий продуктивными для ее развития.

Согласно традиционным представлениям Архимед так же, как и Фалес, был отрешенным от земных забот геометром-мудрецом. В частности, Плутарх следующим образом характеризует его отношение к технике: «Сам Архимед считал сооружение машин занятием, не заслуживающим ни трудов, ни внимания; большинство их появилось на свет как бы попутно, в виде забав геометрии, и то лишь потому, что царь Гиерон из честолюбия убедил Архимеда хоть ненадолго отвлечь

---

<sup>105</sup> *Mauel K.* Technisches Wissen in Antike und Mittelalter. In: Technik und Wissenschaft (Technik und Kultur. Bd 3). Düsseldorf: VDI-Verl., 1991, S. 387.



свое искусство от умозрений и, обратив его на вещи осязаемые, в какой-то мере воплотить свою мысль, соединить ее с повседневными нуждами и таким образом сделать более ясной и зримой для большинства людей. Архимед был человеком такого возвышенного образа мыслей, такой глубины души и богатства познаний, что о вещах, доставивших ему славу ума не смертного, а божественного, не пожелал написать ничего, но считая сооружение машин и вообще всякое искусство, сопричастное повседневным нуждам, низменным и грубым, все свое рвение обратил на такие занятия, в которых красота и совершенство пребывают не в смешанном с потребностями жизни ...»<sup>106</sup>. Такое представление об Архимеде не совсем соответствовало действительности. Архимед и начинал и закончил свою научную деятельность как механик. Даже в его математических произведениях механика является важным средством решения математических задач. В посланиях Эратосфену «О механических теоремах» он пишет: «кое-что из того, что мною было ранее усмотрено при помощи механики, позже было также доказано и геометрически...»<sup>107</sup>.

Архимеду приписывают создание следующих механических конструкций:

- винт Архимеда, или «улитка», — усовершенствованная Архимедом машина, применявшаяся в Египте для поливки полей, а в Испании для удаления воды из шахт, при помощи которой можно выкачивать большие объемы воды с небольшой затратой сил;

- планетарий — созданная им механическая модель небесной сферы, в которой при помощи одного вращательного движения, производимого, по всей вероятности, водяным двигателем, возникали вращения небесных светил, несхожие относительно неподвижных звезд; тем самым Архимед реализовал намеченный еще Анаксимандром метод рационального механического объяснения космических явлений, создав механический (технически реализованный) прототип Вселенной, предначертанный и схематизированный наукой;

- гидравлический орган, использовавшийся им для объяснения сущности души;

- военные машины (баллисты, самбуки, краны для поднятия кораблей и др.), созданные Архимедом для защиты его родного города Сиракузы от римлян<sup>108</sup>;

- механические приспособления, с помощью которых он сдвинул с места полностью груженный корабль;

- система зеркал, с помощью которой он якобы сжег неприятельский флот.

Иногда столь удивительные достижения Архимеда в практической области подвергаются сомнению, однако действенность последнего изобретения в приведенном списке была недавно экспериментально

<sup>106</sup> Плутарх. Сравнительные жизнеописания. Т. 1. М.: АН СССР, 1961, с. 391, 394.

<sup>107</sup> Архимед. Сочинения. М.: Физматгиз, 1962, с. 299.

<sup>108</sup> Dijksterhuis E. J. Archimedes. Princeton, New Jersey: Princeton University Press, 1987, S. 21–27.

подтверждена греческим инженером Саккасом: «В ноябре 1973 г. он провел серию опытов, в которых использовал отполированные до блеска щиты. По сигналу Саккаса солдаты, держащие щиты, направляли лучи, отраженные от них, на деревянные модели древнеримских кораблей. Саккас провел пять опытов. В последнем, пятом, опыте, проведенном 6 ноября 1973 г. в 12 ч. дня, число зеркал было 70, а расстояние до модели составило 55 м. В течение двух-трех минут модели древнеримских кораблей загорались»<sup>109</sup>. Это дает основание предполагать, что сообщения древних об удивительных изобретениях Архимеда в целом соответствуют действительности.

Однако Архимед, как и другие античные математики и механики, в своей научной деятельности следовал идеалу построения научного знания, который был сформулирован древнегреческими философами, прежде всего Платоном, и который получил впоследствии название гипотетико-дедуктивного. П.П. Гайденко по этому поводу пишет: «Именно Платон ... был первым, кто применил этот метод; его дальнейшей логической разработкой мы обязаны Аристотелю, а его применением к математике — вероятно, современному Платону математикам: Архиту, Евдоксу и др. Во всяком случае, способ доказательства, которым пользуется Евклид в «Началах», построен по тому же образцу: делается определенное допущение на основе принятых аксиом и постулатов, а затем показывается, какие следствия должны вытекать из этого допущения»<sup>110</sup>.

Все же иногда ученые (философы) в силу какой-либо экстраординарной причины отрывались от созерцания теорем, чисел и рассуждений и обращались к решению практических задач. Однако и в этом случае они сначала сводили практические задачи к теоретическим проблемам, анализировали их и лишь затем на основе полученных знаний давали практические рекомендации. Причем такая деятельность рассматривалась ими как второстепенное дело, игра, не имеющая большой ценности. Переход от теоретических знаний к практике, оперированию с реальными объектами не был нормирован в научной деятельности. Он был выходом за пределы науки и был делом искусства.

Характерным образцом такого подхода является работа Архимеда «О плавающих телах», которая полностью соответствует научным нормам, сформулированным Платоном и Аристотелем. В ней выдвигаются аксиомы, на основе которых доказываются теоремы, и при доказательстве одних теорем используются уже доказанные теоремы. Никаких практических моделей, наблюдений и опытов в ней не описывается, и не проводится никакого соответствия между идеальной жидкостью и погруженными в нее телами и реальными жидкостями и телами. Эта теория Архимеда по способу построения подобна «Началам» Евклида. Однако известно, что Архимед использует практические

<sup>109</sup> Гуриков В.А. Становление прикладной оптики XV-XIX вв. М.: Наука, 1983.

<sup>101</sup> Гайденко П.П. Эволюция понятия науки. Становление первых научных программ. М.: Наука, 1980, с. 159.

знания о реальных жидкостях и телах, проводит даже опыты, например с короной царя Гиерона, с целью определить количество использованного при ее изготовлении золота. Но он не упоминает об этом в своих работах. Так называемый закон Архимеда — уравнение плавучести — был применен лишь в XVII в. Английский корабельный инженер А. Дин в 1666 г. до спуска корабля на воду при помощи этого закона рассчитал углубление корабля и «был настолько уверен в правильности своих расчетов весовой нагрузки и объемного водоизмещения судна, что еще на стапеле приказал прорезать в бортовой обшивке» отверстия для стволов орудий<sup>111</sup>. (Практика подтвердила правильность теоретического расчета.) Почему же сам Архимед не сделал этого? Да потому, что он строго различал доказательство, проведенное средствами математики, и практическое решение задачи с помощью механических средств. По его утверждению, изучение с помощью механического метода «еще не является доказательством: однако получить с помощью этого метода некоторое предварительное представление об исследуемом, а затем и найти само доказательство гораздо удобнее, чем производить изыскания ничего не зная»<sup>112</sup>.

Таким образом, механический метод рассматривается Архимедом лишь как вспомогательное средство решения математических задач. Явно или неявно механика (техника) у Архимеда является важным подспорьем для математики (науки): аксиоматической формулировке теории рычага предшествовали механические исследования, касающиеся важнейшего понятия всей архимедовой механики — понятия центра тяжести, которые только и позволили сформулировать семь фундаментальных допущений книги «О равновесии плоских фигур». Постулаты-определения таковы:

P<sub>1</sub>. Каждая величина имеет вполне определенный центр тяжести.

P<sub>2</sub>. Центр тяжести величины, составленной из двух величин, лежит на прямой, соединяющей центры тяжести отдельных величин, если их центры тяжести не совпадают.

P<sub>3</sub>. Если некоторую величину поддержать в центре тяжести, она будет находиться в равновесии.

P<sub>4</sub>. Если две величины имеют один и тот же центр тяжести, то он есть также центр тяжести величины, составленной из обеих.

P<sub>5</sub>. Если А слишком тяжело, чтобы быть в равновесии с В, то от А можно отнять столько, чтобы остаток был в равновесии с В.

Разве это не описание некоторых опытов, которые Архимед мог проделать сам или заимствовать из повседневной практики? И, тем не менее, в обыденном опыте отсутствует главное — сама идея центра тяжести. Центр тяжести остается интуицией мастера, пока с ее помощью он строит и перемещает грузы. Когда же с помощью построений и перемещений ученый сосредоточивает внимание на центре тяжести как всеобщем определении механической системы, интуиция становится теоретической идеей. Именно собрание таких предметных

<sup>111</sup> Ханович Г. Юлиан Александрович Шиманский. М.: Наука, 1968, с. 77.

<sup>112</sup> Архимед. Сочинения. М.: Физматгиз, 1962, с. 299.

исследований, руководимых теоретической идеей (экспериментов), и представляли собой, по-видимому, «элементы механики Архимеда. Результаты сведены в перечисленные выше пять определений»<sup>113</sup>. Однако создание механических орудий (техники) на основе ранее полученных научных знаний — это лишь средство демонстрации силы науки, где техника выступает как игра научного ума, результат экстраординарного, а не регулярного применения науки. Для эпохи эллинизма и поздней античности характерно рассматривать машину как средство развлеченя, игру ума, средство (ухищрение) перехитрить природу, продемонстрировать силу знания.

Важно другое — Архимед осуществил геометризацию статики (механики) и механизацию геометрии, т. е. привел в соответствие геометрическую (математическую) схему и механическую (техническую) конструкцию. А. В. Ахутин следующим образом описывает этот факт. «Подобно тому, как «технологи» и «механики» создавали теорию движения своих машин, анализируя условия равновесия рычагов, блоков, клиньев и конструкций из них, архитекторы и строители исследовали равновесие и устойчивость своих конструкций, исходя из возможных смещений, которые нужно предотвратить. И там, и здесь основным теоретическим аппаратом была геометрия подвижного равновесия. Их теоретическая основа была по сути дела одна и та же

Основу ее составляет отождествление тела с весами, т. е. мысленное уравнивание его и нахождение единого центра равновесия всех «весов»... В результате мы получаем предметно-теоретическое понятие центра тяжести, т. е. центра, вокруг которого (на концентрических окружностях) располагаются уравновешенные части. Следующий шаг приводит нас в центр всей геометро-механической мысли Архимеда. Если теперь мы возьмем геометрическую фигуру — «равномерную по толщине и однородную по весу» (Герон. Механика. II, 35, с. 73), — то разделение ее (по разным направлениям) на две равновеликие части будет соответствовать ее уравниванию. Чисто геометрическая операция заменяет здесь механическую». В этом и заключается геометризация механики, но в обратном переходе от геометрии к механике, цель которого — находить с ее помощью некоторые математические теоремы, заключен смысл механизации геометрии, наиболее полным и совершенным воплощением которой явилась созданная Архимедом механическая модель небесной сферы. «Если действие тела на плечо рычага сводится к действию его центра тяжести, то при однородном распределении тяжести по объему, что можно представить только в случае идеальной геометрической фигуры, равновесие есть равновеликость, и мысленное взвешивание геометрических фигур становится универсальным методом решения традиционной задачи греческой геометрии: сравнение фигур по величине»<sup>114</sup>.

<sup>113</sup> Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента от античности до XVII в. М.: Наука, 1976, с. 91–93.

<sup>114</sup> Там же, с. 95.

Именно в этом пункте сходятся процедуры взаимоперехода геометрического в механическое и механического в геометрическое, характерные для соотношения техники и математики, начиная с XIX в. В этом главное значение архимедовой статики как научно-исследовательской программы и новой «философии» техники для последующего развития науки и техники, отчетливо сформулированной лишь в Новое время в работах Галилея. Это тем более удивительно, что механика в античной Греции рассматривается как искусство, ремесло, технэ. «Сюда относятся строительное, военное, навигационное дело, изготовление водных сооружений, транспортировочных и подъемных устройств, игрушек и автоматов — искусство конструирования водяных и солнечных часов, а также астрономических моделей ... , вообще всякое искусство, которое приводит материю в движение»<sup>115</sup>.

Галилей пошел, впрочем, еще дальше Архимеда, соотнес математическую (геометрическую) схему не только с техническими (механическими) моделями, но и с описанием природных, физических процессов, о чем будет говорить в дальнейшем. Возможность этого перехода была заложена уже в работах неоплатоников, попытавшихся с помощью учения об эманации соединить несоединимое — платоновское учение об идеях с философией природы Аристотеля. Это схематически изобразил Николай Гартманн в учебнике «Введение в философию» (рис. 33)<sup>116</sup>.

На рис. 33 схематично представлено учение Платона об идеях: мир идей перетягивает, как магнитом, тяжесть с мира вещей на себя, вследствие чего обесценивает этот мир вещей. Основу аристотелевской философии составляет духовный принцип: в основе всего лежит все. В то время как у Платона идеи являются самостоятельными и существуют в высшем мире независимо от вещей, у Аристотеля они являются сущностью вещей, находящейся в самих вещах. Это перемещение платоновских идей в земные вещи способствует тому, что реальный мир вновь обретает тяжесть, отнятую у него Платоном. Однако дифференциация в мире, в котором царствуют формы, индивидуальное выражение вещей этого реального мира, по Аристотелю, целиком зависят лишь от материи, которая одна является принципом индивидуализации. Эта попытка объяснения образования индивидуальности, возможно, приемлемая для неорганического мира, терпит неудачу при применении к животному миру.

Еще дальше идет Плотин (III в. н.э.) в своем философском учении, получившем название неоплатонизма, который над мировым духом с его многообразием идей расположил «единое», а под миром идей — подчиненное ему многообразие вещей и, наконец, материю. Этим ступеням соответствуют и ступени совершенства, степень которого снижается при движении по ступеням вниз. Мир образовался в результате эманации первоначального единого — потенции всех

<sup>115</sup> Ахутин А. В. Указ. соч. с. 272.

<sup>116</sup> Hartmann N. Einführung in die Philosophie. Vorlesungsnachschrift. Göttingen: Vandenhoeck & Rupprecht, S. 11–14.

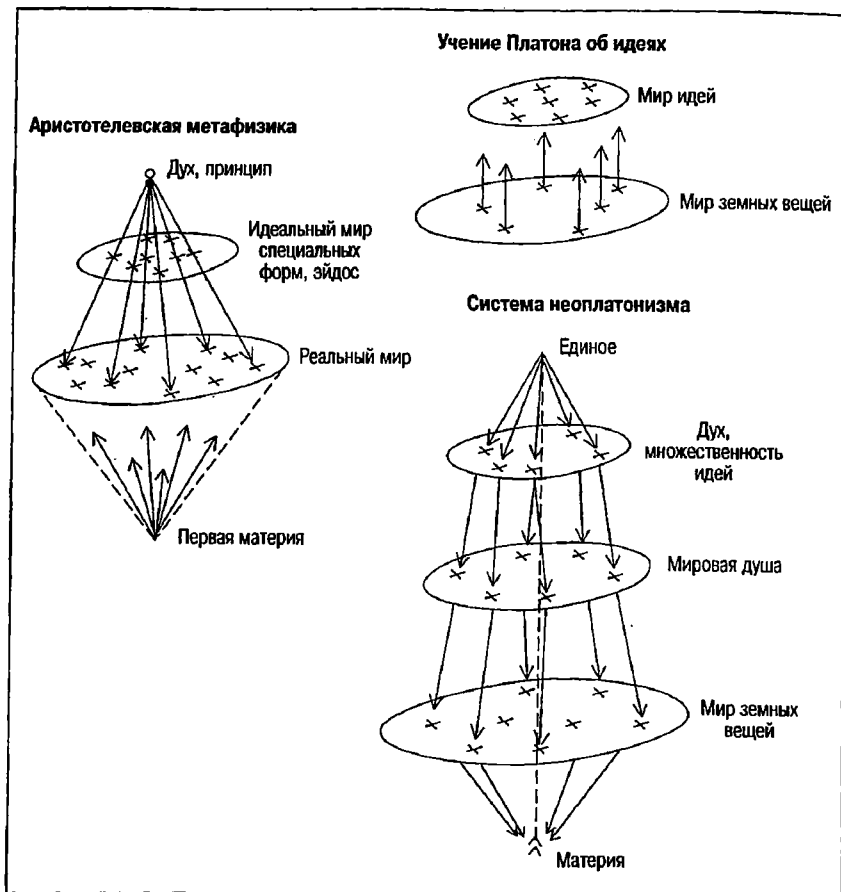


Рис. 33. Учение Платона об идеях

вещей, — подобного солнцу, излучающему тепло. Тем самым неоплатонизм с помощью эманации соединил мир идей с реальным миром природных вещей. Отсюда возникает проблема места и роли математики и ее соотношения с физикой, которой посвящены комментарии к «Началам» Евклида другого неоплатоника — Прокла (412–185 н.э.).

По мнению Прокла, математическое бытие не принадлежит «ни к самым первым, находящимся в сущем родам, ни к низшим и — в отличие от простого бытия — разделенным», а занимает «среднюю область между не имеющими частей, простыми, несоставными и неделимыми реальностями и реальностями, состоящими из частей и находящимися во всевозможных сочетаниях и разнообразных разделениях». Наличие в рациональных построениях геометрии того, что «вечно тождественно, неизменно и неопровержимо, показывает, что она стоит выше так называемых вещественных видов». Однако она

занимает подчиненное положение по сравнению «с природой неделимой и целиком утвержденной в себе самой», «в силу раздельности оно более множественно, чем первые реальности, но в силу невещественности стоит выше последних; уступает в простоте первым, но превосходит последние точностью; более отчетливо, чем чувственно воспринимаемое, воспроизводит умопостигаемое бытие, но представляет собой подобие, причем воспроизводит неделимые и единовидные образцы сущего раздельно и множественно». Тогда математические науки в соответствии с мыслью Платона относятся к сфере разума, «который помещается выше мнения, но уступает мышлению»<sup>117</sup>. «Таким образом следует мыслить два вида всеобщего, находящегося во множественном: одно — в чувственно воспринимаемом, другое — в воображаемом. Поэтому и круг как рациональное построение двояк, и треугольник и вообще всякая фигура: одни находятся в умопостигаемой материи, другие — в чувственно воспринимаемой. А им предшествует — с одной стороны — мысленное рациональное построение, с другой — природное: одно обеспечивает реальность и единую форму воображаемых кругов, другое — чувственно воспринимаемых, — таковыми пусть будут круговые движения неба и вообще все те, какие производит природа. ... мысленный круг един, прост и внепространственен, так что сама величина там лишена величины (потому что все такое там — рациональные построения без материи) и фигура не имеет очертаний; в воображении он — подлежащий делению, имеющий пространственные очертания, не только единый, но единый и множественный; не только форма, но форма, имеющая место в определенной материи; а в чувственно воспринимаемом он обладает меньшей точностью, несет в себе элементы прямизны и лишен чистоты, какая свойственна бестелесному»<sup>118</sup>.

Прокл критикует представление Аристотеля о математических сущностях как производных от чувственно воспринимаемых вещей путем их отвлечения или путем сведения частных в единое обобщенное рациональное построение. Согласно Аристотелю «в отношении сущего примером служит то рассмотрение, которому математик подвергает объекты, полученные посредством отвлечения. Он производит это рассмотрение, сплошь устранив все чувственные свойства, например, тяжесть, легкость, жесткость и противоположное (ей), далее — тепло и холод и все остальные чувственные противоположности, а сохраняет только количественную определенность и непрерывность, у одних — в одном направлении, у других — в двух, у третьих — в трех, а также — свойства этих объектов, поскольку последние количественно определены и непрерывны, но не с какой-нибудь другой стороны; и у одних предметов он разбирает те положения, в которых они стоят друг к другу, и то, что связано с этими положениями, у других — их соизмеримость и несоизмеримость,

<sup>117</sup> Прокл *Диадок*. Комментарий к Первой книге «Начал» Евклида. Введение. М.: Греко-латинский кабинет, 1994, с. 43–59.

<sup>118</sup> Там же, с. 139.

у третьих — их (взаимное) соотношение, но все-таки мы принимаем одну и ту же науку для всех этих предметов — именно геометрию»<sup>119</sup>.

Прокл склоняется к интерпретации математических сущностей Платоном как обладающих самостоятельной реальностью, существующих еще до самих вещей. Они возникают из души, придающей совершенству несовершенному и точность неточному, и не могут быть абстрагированными из вещественных фигур, которые по определению являются неточными и несовершенными. Именно душа порождает математические виды и рациональные построения, которые существуют в ней первично, а затем уже порождают чувственно воспринимаемые предметы. «Следовательно, доказательные науки отнюдь не должны обращать внимание на чувственно воспринимаемое — позднее возникшее и более неясное, а должны рассматривать постижимое разумом и более совершенное, нежели ведомое ощущению и мнению»<sup>120</sup>. Тогда математика — это наука о рациональных построениях разума, а ее изучение сводится к припоминанию вечных рациональных построений, которые находятся в душе.

Таким образом, математика, соприкасаясь сверху с постижением первых начал, со знанием, существующим в чистой мысли, спускаясь вниз, доходит до чувственно воспринимаемых результатов. «Именно в силу этого в качестве производных от нее знаний она дала всю механику, оптику и катоптрику (наука о зеркалах), а также многие другие виды умозрения, тесно связанные с чувственно воспринимаемым и в нем действующие; продвигаясь вверх, она воспринимает неделимые и невещественные мысли и с их помощью совершенствует свои дробные представления и знания, появляющиеся в частных ходах мысли, а также уподобляет тем сущностям собственные роды» и, наконец, доходит до постижения сущего. Плотин говорит о том, что одержимого философией «нужно обратить к математическим дисциплинам, чтобы приучить к бестелесной природе, и с их помощью — как бы с помощью чертежей — возводить к диалектическим рассуждениям и вообще к рассмотрению сущего»<sup>121</sup>.

Для Плотина и оптика, и механика, и астрономия суть «приложения» геометрии, но не в современном смысле этого слова, а как сфера реализации априорных геометрических схем. Оптика «имеет дело со зрительными лучами в качестве прямых и с углами, из них составляемыми, и делится на оптику в собственном смысле, устанавливающую причину искажения видимого на расстоянии, например сходжения параллельных и рассматривания четырехугольников как прямых; и на всю катоптрику, имеющую дело со всевозможными отражениями и связанную со знанием уподоблений и в качестве таковой дающую правила так называемой сценографии, то есть того, как на картинах изображения кажутся пропорциональными и сохраняющими на расстоянии форму и высоту изображаемого». В античности сложились два основных представления о восприятии света человеческим глазом. Атомисты были убеждены, что мельчайшие частицы переносят

<sup>119</sup> Аристотель. *Метафизика*. 1061a 28.

<sup>120</sup> Прокл *Диадок*. Указ. соч., с. 65.

<sup>121</sup> Аристотель. *Метафизика*. 1061a 28.



изображение от предмета к глазу. Евклид же придерживался иного мнения, утверждая, что лучи света как бы исходят из глаз, ошупывая предмет. Именно это представление затем составило основу теории перспективы. Этой же концепции придерживался и Птолемей.

Механика является «частью занятий чувственно воспринимаемым и вещественным, а в нее входит изготовление орудий, необходимых во время войны, в частности, те оборонительные орудия, которые, говорят, изобрел Архимед во время осады Сиракуз, а также чудотворное искусство, достигающее соответствующих эффектов отчасти благодаря ветру, чем занимаются Ктесибий и Герон, отчасти благодаря использованию весов, неуравновешенность которых создает движение, а уравновешенность — покой, как это показано, между прочим, и в Тимее; при этом с помощью нитей и веревок создается впечатлительные живых поворотов и движений. К механике относится и вообще все учение о равновесии и о том, что называется имеющим центр тяжести, а также изготовление сфер, воспроизводящих круговращение небесного свода, чем занимался, в частности, и Архимед, и вообще все учение о движении вещества». Астрономия же изучает «движение небесного свода, величины и формы небесных сфер и светил, а также их отстояние от Земли и все прочее такого рода. Она многое заимствует у чувственного восприятия, но весьма приобщена также к теоретическим построениям физики. Частью астрономии является наука о гномонах, занятая измерением времени дня посредством установления солнечных часов; наука о небесных явлениях, исследующая различия в высоте и расстояния между звездами, а также обучающая множеству разных других вещей, рассматриваемых астрономией; и диоптрикой, устанавливающая расстояния между солнцем, луной и остальными звездами с помощью соответствующих инструментов»<sup>122</sup>. Поскольку же в самой геометрии преобладающим является созерцание, как в механике преобладает практика, то в ней все проблемы причастны умозрению.

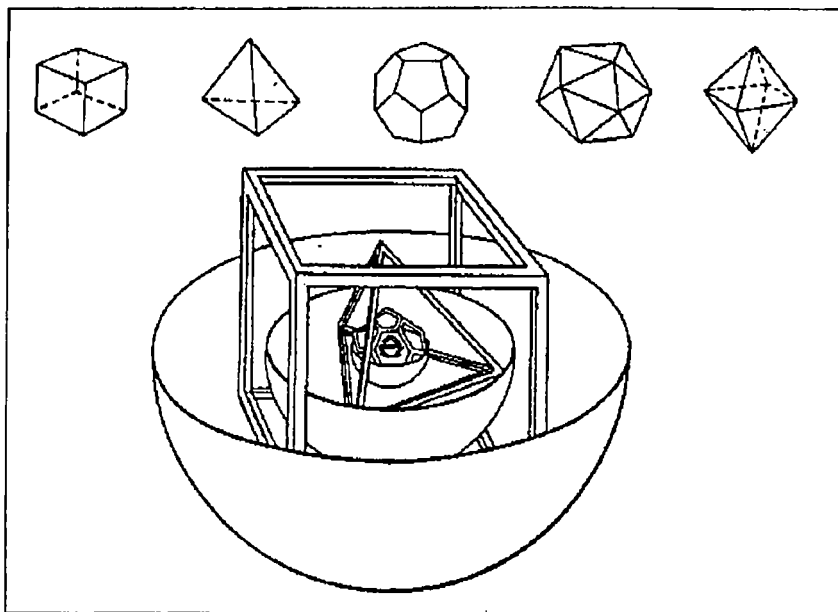
Рассмотрим теперь, как же тогда соотносит Прокл математику с реальным Космосом. Платоновы пять основополагающих фигур, являющиеся основанием пяти тел-элементов, из которых состоит все в этом мире, называются у Прокла «космическими фигурами». Как и Евклид в рамках своей геометрии, он вписывает пять простых тел в представляемый в виде шара Космос, поскольку шарообразная фигура объединяет все находящиеся в мире фигуры: «поэтому также Тимей сделал Космос в целом шаром, организовал, однако, его с помощью пяти фигур, которые единственно являются равносторонними и равноугольными, пять его составных частей, причем все их он вписал одну в другую и в шар»<sup>123</sup>.

Важнейшим промежуточным звеном между современным пониманием соотношения физики и математики, с одной стороны, и Проклом, Евклидом и Платоном, с другой стороны, является Иоганн

<sup>122</sup> Прокл *Диадок*. Указ. соч., с. 115–117.

<sup>123</sup> Schmitz M. *Euklids Geometrie und ihre mathematiktheoretische Grundlegung in der neoplatonischen Philosophie des Proklos*. Würzburg: Königshausen & Neumann, 1997, S. 171.

Кеплер, который, основываясь в своей Мировой гармонии на учении Прокла<sup>124</sup>, достиг того, что его построение Вселенной осуществляется с помощью шести высших фигур: шара и пяти правильных тел. Для человека эпохи Ренессанса это строение мира представлялось божественным откровением, божественным планом, проектом устройства Космоса. Кеплер считал, что отдельные планеты могут быть описаны с помощью шара, а их орбиты — с помощью пяти платоновских тел (рис. 34). Он верил в то, что нашел решение упорядочения пяти (известных тогда) планет: додекаэдру соответствует земная орбита, тетраэдру — орбита Марса, кубу — Сатурна (точнее, в сферу Сатурна вписан куб, а в него вписана сфера Юпитера), икосаэдру — Венеры, а октаэдру — орбита Меркурия. После открытия новых планет солнечной системы и более точного расчета их орбит учение о пяти платоновских телах потеряло свое значение.



**Рис. 34.** Пять регулярных тел-фигур: куб, тетраэдр, додекаэдр, икосаэдр и октаэдр. Модель Кеплера, в которой каждая из фигур вписана в соответствующую планетную орбиту и все они вписаны в шаровидную сферу

(Рисунки взяты из книги: Kuhn T. *Die kopernikanische Revolution*. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980.)

Основное отличие учения Прокла от учения Кеплера — отношения зависимости между математикой и физикой. В то время как для Кеплера математика является вторичной именно в силу того, что она

<sup>124</sup> *Freiestleben H.* Kepler als Forscher. Darmstadt: Wissenschaftlich Buchgesellschaft, 1970, S. 57.

служит подсобным средством для расчета физических явлений, для Прокла математика — это причина, онтологическая предпосылка физики, поскольку, по его мнению, физические вещественные связи лишь отражают математические отношения. Таким образом, Прокл в соответствии с учением об эманации, восходящим к Плотину, рассматривает физический мир как следствие математики, в котором математика, так сказать, сверху упорядочивает этот мир. При этом Космосу придается шаровидность не потому, что это соответствует нашим чувственным восприятиям и повседневному опыту (или эксперименту), а потому, что это исходное и простейшее тело, которому соответствует определенная математическая фигура, существовавшая еще до возникновения всякого физического тела, — шар. В этом случае математические схемы — это своего рода априорные схемы, в соответствии с которыми построен мир, а не средство для расчетов<sup>125</sup>. По убеждению Кеплера, астрономия и физика тесно связаны, однако иным способом. Огромная заслуга Кеплера состоит в том, что он заменил формальную схему, являющуюся основой всей существовавшей до него астрономии, динамической моделью, в которой вместо математического правила описывался природный закон, а геометрическое описание движения планет основывалось на данных наблюдения за реальными планетными движениями. Тем самым не математическая схема, а физическая реальность становится основой небесной механики. Кеплер пишет по этому поводу: «Цель моя заключается в том, чтобы показать, что небесная машина является не видом божественного живого существа, а подобна часовому механизму, поскольку при ближайшем рассмотрении все многочисленные движения инициируются одной единственной весьма простой магнетической телесной силой, как и в часовом механизме все приводится в движение простым грузилом. И, кроме того, я показываю, как эти физические представления представляются расчетно и геометрически»<sup>126</sup>. В этом высказывании, с одной стороны, прослеживается стремление Архимеда соединить математическое и механическое описание для объяснения хода физических процессов, а с другой стороны — прямая связь с математизированной ньютоновской физикой, ставшей основой классической научной программы.

Этот раздел, связанный с развитием представлений о науке и технике в античности, уместно закончить четверостишием, прекрасно характеризующим этот период:

«Вы, греки, — племя умное,  
Прядут вам все другие,  
Соткали сеть бесценную,  
Хоть нити в ней чужие».

(Фр. Гебель)<sup>127</sup>

<sup>125</sup> Schmitz M. Euklids Geometrie und ihre mathematiktheoretische Grundlegung in der neoplatonischen Philosophie des Proklos. Würzburg: Königshausen & Neumann, 1997, S. 176–177.

<sup>126</sup> Caspar M. Johannes Kepler. Stuttgart: W. Kohlhammer Verlag, 1958, S. 156–157.

<sup>127</sup> Цит. по: Рожанский И. Д. Развитие естествознания в эпоху античности. М. Наука, 1979, с. 60, 64.

## **Глава 2. ПРЕДПОСЫЛКИ НОВОГО НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ В СРЕДНИЕ ВЕКА И ВЫРАБОТКА НОВОЙ ФИЛОСОФИИ НАУКИ И ТЕХНИКИ В ЭПОХУ РЕНЕССАНСА И НОВОЕ ВРЕМЯ**

### **1. Развитие предпосылок научного экспериментирования и новой «проектной» философии техники в рамках канонической средневековой культуры**

Средневековая культура была в своей основе канонической в отличие от современного мышления и культуры, главной чертой которых можно назвать проектность<sup>1</sup>. Современная культура, начиная с эпохи Возрождения, проектна, поскольку ориентирована на создание нового, на научно-технический прогресс. Древние же культуры были каноническими, ориентированными на освещенную веками традицию, основанную на священном писании. «Стиль канона ретроспективный, а не перспективный. В христианско-средневековом мире мы находим все основные признаки культуры канонического типа. Сакральный канонический текст — Священное писание — лежал в основании этой культуры»<sup>2</sup>. Эта особенность средневековой культуры прослеживается как в науке, так и в ремесленной технике.

Первым основанием средневековой науки была ссылка на авторитет. Одним из таких непререкаемых авторитетов (не считая, конечно, авторитета Священного писания), рассуждения которого не подвергались сомнению, был Аристотель. Новая наука — экспериментальное естествознание — отрицала непререкаемость авторитета. Еще Роджер Бэкон ратовал за опыт как основание подлинного научного доказательства и против авторитета. Галилей опровергал средневековый принцип авторитарности весьма оригинальным способом — ссылкой на авторитет, подчеркнув, что сам Аристотель научил его удовлетворять свой разум только собственными рассуждениями, а не авторитетом

---

<sup>1</sup> О различии проектной и канонической культур см.: Сидоренко В. Ф. Генезис проектной культуры и эстетика дизайнерского творчества: Автореферат диссертации на соискание ученой степени доктора искусствоведения. М.: ВНИИТЭ, 1990.

<sup>2</sup> Там же, с. 14–15.

учителя. И все же этот принцип сохранился в рудиментарной форме до сих пор, поскольку и в современной науке ссылка на авторитеты играет важную роль, но при этом не является единственным и безусловным доказательством правоты, как в средние века. Этот принцип нашел отражение и в структуре любого научного текста, обязательной принадлежностью которого является ссылочный аппарат. Современному ученому нет необходимости самому доказывать все свои рассуждения, он всегда опирается на опыт предшественников — без этого эффективное развитие науки было бы просто невозможным. Но ему уже не нужно приписывать авторство своего труда авторитету (земному или божественному) или облекать его в форму комментария к каноническому тексту, как это часто случалось со средневековыми авторами. «В отличие от канонической культуры проектная культура имеет авторский характер»<sup>3</sup>.

Тот же феномен каноничности легко обнаружить и в средневековой ремесленной технике. Например, к продукту, который должен был изготовить человек, вступающий в разряд мастеров, предъявлялись определенные требования: он должен быть не хуже, но и не лучше предписанного каноном образца — не хуже, так как в противном случае кандидат в мастера оказывался не в состоянии создать продукт, удовлетворяющий требованиям потребителя, и не лучше, поскольку лучший продукт создает нежелательную конкуренцию в цеховой организации. В этом смысле любые не зафиксированные в каноне новшества и изобретения были нежелательными и даже вредными, нарушающими привилегии цехов. Цехи запрещали пользоваться изделиями, полученными с помощью такого рода изобретений, рекламировать товары и продавать их по более низким ценам, чем установлено цеховыми статутами. Изобретения воспринимались как нечто отвратительное. В акте Кельнского городского совета (1412 г.) записано: «Да будет известно ... что к нам явился Вальтер Кизингер, предлагавший построить колесо для прядения и кручения шелка. Но посоветовавшись и подумавши со своими друзьями ... совет нашел, что многие в нашем городе, которые кормятся этим ремеслом, погибнут тогда. Поэтому было постановлено, что не надо строить и ставить колесо ни теперь, ни когда-либо впоследствии»<sup>4</sup>. Это не значит, что изобретений тогда вообще не было, но они чаще всего основывались на заимствовании технологии из других стран или из прошлого: введенные нововведения в сфере аграрной или военной техники основывались не на изобретениях, а на перенятии из чужих культур и прежде всего из Китая, т. е. на путях технологического трансферта и имитации с целью применения»<sup>5</sup>. Изобретения улучшаются в процессе применения. В конце средних веков цеховая организация промышленности начинает не соответствовать новым потребностям производства,

<sup>3</sup> Сидоренко В. Ф. Указ. соч., с. 10.

<sup>4</sup> Социальная история средневековья. Т. 2. Позднее средневековье. М.-Л.: Госиздат, 1927.

<sup>5</sup> Lorenz S. Technik und Gesellschaft im Mittelalter. In: Technik und Gesellschaft (Serie: Technik und Kultur. Bd. 10). Düsseldorf: VDI Verlag, 1993, S. 79.

рассчитанным на широкий рынок. Возникает новая «проектная» культура, хотя, конечно, и канонической средневековой культуре была присуща скрытая функция проектности, позволившая ей перерасти в современную культуру. В данном подразделе мы и рассмотрим эту зарождающуюся в средневековой науке и технике функцию проектности.

Иногда средневековую технику характеризуют как отступление в техническом развитии, приводя в качестве примера утрату многих технических достижений античной техники. Однако такая утрата зачастую объяснялась изменением условий и интересов. Например, выпуклые греческие и римские монеты были заменены на плоские скорее всего не в связи с утратой технологии их изготовления, а в силу неудобства их использования торговцами и менялами<sup>6</sup>. И все же, чтобы понять, каким образом, возникла проектная культура, приведшая к необычайному научно-техническому развитию, важно выявить ростки нового миропонимания и изменения ценностных ориентаций, которые происходили в период раннего средневековья. Это прежде всего изменение отношения к ручному труду.

Тяжелый ручной труд в античности приравнивался к труду несвободному, т. е. к рабскому, и считался недостойным свободного человека. Несколько иное отношение к ручному труду развивается в период европейского средневековья под влиянием, во-первых, иудейско-христианского наследия и, во-вторых, получившего тогда распространение монашества. Одна из заповедей Ветхого Завета гласит, что работа в течение шести дней, как и отдых на седьмой день, являются религиозной обязанностью. Многие раввины были сапожниками, портными, плотниками, да и апостолы добывали себе на пропитание ремеслом: «И по одинаковости ремесла, остался и работал: ибо ремеслом их было делание палаток» («Апостолы» 18, 3). И все же отношение к ручному труду по-прежнему оставалось двойственным, особенно с развитием рыцарской культуры. Перелом в отношении к ручному труду и его оценке наступает с повсеместным распространением монашества, обусловленным стремлением вернуть чистоту и простоту старой церкви. Ручной труд стал осознаваться не только как средство получения хозяйственных результатов или даже умерщвления плоти, но прежде всего как форма служения Господу, молитвы, радостной жертвы. Монахи, занимаясь грязной ручной работой, одухотворяли, очишали ее. Уважение к работающему монаху изменяло и ценностные ориентации по отношению к повседневному труду крестьянина и ремесленника в средневековом обществе. А изменение отношения к ручному труду изменяло и установку в западноевропейском средневековье с созерцательно-теоретической (оставшейся характерной для восточного христианства) на деятельностно-практическую<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> White J. Was beschleunigte den technischen Fortschritt im westlichen Mittelalter? In: Technikgeschichte, 1965, Bd. 32, №. 3, S. 201–205.

<sup>7</sup> Там же, S. 214–219; Borst O. Alltagsleben in Mittelalter Frankfurt a. Main: Insel Verlag, 1983, S. 336–387; Le Goff J. Für ein anderes Mittelalter — Zeit, Arbeit und Kultur im Europa des 5. — 15. Jahrhunderts. Frankfurt a. Main: Ullstein, 1984, S. 56–76.

Вследствие изменения отношения к ручному труду, во-первых, возникло стремление облегчить тяжелую и однообразную работу человека (недостойную слугителя Бога) с помощью природных сил (такая идея не могла возникнуть в античном обществе) и, во-вторых, внедрить деятельностно-практическую установку в сферу интеллектуальной деятельности, поскольку монахи были первыми интеллектуалами, которые не боялись ручной работой. В связи с этим стали создаваться возможности и предпосылки для совершенствования техники, что стало характерной чертой эпохи Возрождения, и для развития идеологии экспериментального естествознания в науке Нового времени. Это проявляется пока только как тенденция, сами нововведения еще имеют вид улучшений в процессе приспособления к новым условиям технических заимствований (своеобразной передачи технологии) из других регионов и культур. В сущности, любое изобретение и открытие и в наше время неизбежно или уходит корнями в забытое прошлое, или заимствуется из других областей науки и техники. Однако сейчас подчеркивается прежде всего новизна изобретения, а средневековые ученые и ремесленники ссылались в первую очередь на преемственность и авторитет.

Чтобы обеспечить распространение своего нововведения, средневековые изобретатели часто скрывали авторство, приписывая его какому-либо авторитету: «Мы узнаем о тех или иных нововведениях случайно, по косвенным упоминаниям, по материальным предметам. Например, считается, что известный ювелир Годфруа де Клер из Пуи был изобретателем особой техники полихромной эмали. Но это предположение основано только на том, что первые из известных изделий, выполненных в этой технике, вышли из его мастерской. Сам же факт изобретения нигде не отмечен. Разумеется имена многих изобретателей могли не дойти до нас. Но дело не только в этом. Раз авторы были забыты, то это значит, что их эпоха (в отличие от нашей) и не заботилась о сохранении памяти о них, что изобретательство тогда не являлось деятельностью высоко ценимой обществом»<sup>8</sup>. Наконец, многое объясняется особенностями личности средневекового ремесленника, который не отграничивал себя от монастыря, цеха, корпорации. Стремясь улучшить сделанное, он не осознавал, что творит новое. Однако сами изобретения вольно или невольно кардинально меняли социально-культурную обстановку, в которой жили многочисленные анонимные изобретатели.

Например, трехпольная система земледелия, предусматривающая использование тяжелого плуга, и военная реформа, основанная на усовершенствовании рыцарского вооружения, потребовали изменения социальной структуры общественного устройства. Поскольку для использования тяжелого плуга с отвалом требовалась упряжка из восьми волов, а позднее из нескольких лошадей, возникала необходимость объединить крестьянские семьи в общины (марки), что

---

<sup>8</sup> Харитонович Д. Э. Изобретательство и ранние формы инженерной деятельности // Вопросы философии, 1985, № 2, с. 97.

предопределило экономию рабочей силы, появление излишков питания, высвобождение досуга у крестьян для занятия ремеслом, возможность их переселения в города, так как наличие лошади решало транспортную проблему. Заимствование стремени, изобретенного китайцами, и усовершенствование его для более устойчивого положения всадника при ведении боя привели к увеличению силы удара копьем, что потребовало изобретения более прочных и тяжелых доспехов для всадника и для лошади и изобретения арбалета как средства борьбы с подобным образом экипированным рыцарем. Такое рыцарское вооружение требовало больших финансовых затрат. Поэтому военная реформа, проведенная Карлом Великим, оказалась стимулом для социальной реформы — раздела земли на лены, принадлежащие отдельным рыцарям и обеспечивающие их содержание, а также приобретение вооружения и коня. Таким образом, такое незначительное техническое новшество, как заимствование и усовершенствование европейцами в VIII в. н.э. стремени, которое не было известно не только на Ближнем Востоке, но и в Греции и Риме, привело к огромным социально-экономическим изменениям средневекового общества и сделала рыцарей господами Европы<sup>9</sup>.

Именно в средние века в Западной Европе произошел важный сдвиг в мировоззрении — человек осознал себя господином природы, который эксплуатирует ее для своих целей. Этот мировоззренческий сдвиг способствовал возникновению практической идеи замены человека природными силами в процессе работы. Машины-игрушки эпохи эллинизма (например, ветряная мельница, паровая турбина и многочисленные игрушки-автоматы Герона Александрийского) не оказали серьезного влияния на тогдашнее техническое развитие. В западноевропейском же средневековье потребность в различных ветряных, водяных мельницах для выполнения разнообразных тяжелых работ (в кузнечном деле, деревообработке, текстильной и бумажной промышленности и др.) была настолько велика, что в Англии, например, текстильная промышленность переместилась с юго-востока на северо-запад, где условия эксплуатации этих мельниц были более удобными. Сдвиг в мировоззрении был связан с изменением отношения к природе в новой религии. В отличие от анимизма древних религий, обожествлявших отдельные природные явления и объекты, культ святых обожествил человека и разрушил анимистическое отношение к природе. Силы природы теперь противостояли человеку, а святые как обожествленные люди и как репрезентанты Бога на земле находились на стороне человека. Получивший земную монополию на духовность человеческий род стал осознавать себя господином природы и обладателем права распоряжаться ею в собственных целях<sup>10</sup>.

<sup>9</sup>White L.J. Was beschleunigte den technischen Fortschritt im westlichen Mittelalter? In: Technikgeschichte, 1965, Bd. 32, №. 3, S. 206–208; White L.J. Die mittelalterliche Technik und der Wandel der Gesellschaft. München: Heinz Moos Verlag, 1968, S. 20–70.

<sup>10</sup>White L.J. Was beschleunigte den technischen Fortschritt im westlichen Mittelalter? In: Technikgeschichte, 1965, Bd. 32, №. 3, S. 208–213.



Практическое техническое развитие было впервые отмечено в западноевропейских средневековых монастырях, бывших не только «фабриками» по производству полезных продуктов, но и «лабораториями» технического экспериментирования<sup>11</sup>. Например, монах Теофил стремился усовершенствовать стекольное дело в монастыре св. Пантелемона, основанном кельнским бишопом Бруно. Известно, что Теофил был послан бенедиктинцами учиться в Византию, где его настолько поразила красота мозаики Софийского собора в Константинополе, что он решил до тонкостей изучить производство стекольных изделий. Свой опыт он обобщил в книге *Diversarum artium schedula*, которая стала пособием для обучения учеников профессиональным тайнам этого ремесла<sup>12</sup>.

В первую очередь Теофил дает рекомендации относительно постройки печей, приводит точные объемы золы и песка; необходимые для производства разного рода стекла, и их пропорции для получения шафранно-желтого и рубинового стекла. Производство оконного стекла занимает в книге особое место, поскольку оно было в те времена почти сакральным делом, формой служения Богу — цветное стекло применялось почти исключительно для церкви и монастырей. Поэтому Теофил особенно тщательно и подробно рассматривает технологию создания церковных окон. Кроме того, он учит своих учеников, как собирать и запаивать окна, украшать цветное стекло драгоценными камнями. Читая егоopus о «греческом стекле», которое используется для украшения мозаики, можно только поражаться, насколько хорошо этот монах разбирался в тонкостях его изготовления: «Они (греки) подготавливают также по способу производства оконного стекла золотые пластины из белого светлого стекла в палец толщиной, расщепляют его с помощью раскаленного железа на небольшие кубики, покрывают их с одной стороны листовым золотом, наносят на очень светлое цветное стекло, кладут эти кубики все вместе на покрытый слоем извести и золы железный протвень и обжигают их в печи для изготовления оконного стекла. Такое стекло, вставленное в мозаику, очень ее украшает»<sup>13</sup>. Этот рецепт рационален, «проектен» и потому воспроизводим. В нем уже нет ничего мистически-мифологического, хотя еще нет и собственно науки, да и техническая терминология не совсем устоялась.

Теофил в совершенстве владел и технологией изготовления изделий из благородных металлов, прежде всего предметов христианского церковного культа. Очень подробно он описывает и «инструментарий» (*organarium*) ювелирного дела. Эти инструкции были настолько практически воспроизводимыми, что столетие спустя бенедиктинский монах Роггерус из монастыря Хельмерсхаузена (Германия) смог на их

---

<sup>11</sup> *Borst O.* Alltagsleben in Mittelalter Frankfurt a. Main: Insel Verlag, 1983, S. 168, 369, 375.

<sup>12</sup> *Potthoff O.D.* Kulturgeschichte des deutschen Handwerks mit besonderer Berücksichtigung seiner Blütezeit. Hamburg: Hanseatische Verlagsanstalt, 1938, S. 38.

<sup>13</sup> Там же, S. 38–39.

основе восстановить технику отливки изделий из цинка, шлифования драгоценных камней, вставления жемчужин в золотую оправу<sup>14</sup>.

Таким образом монастырские «фабрики» были местом не только производства конкретных изделий, но и обучения, а также экспериментирования в целях приспособления заимствованной технологии, ее доработки с учетом местных условий. Они были действительными пунктами технологического трансфера, внедрения и передачи технологий. Например, отливка колоколов, которая первоначально была прерогативой монастырей, позднее перешла в ведение городского самоуправления в качестве особой гильдии, ремесленного цеха. Средневековые монахи «не только построили соборы и теологические системы, но и улицы и мосты, не только несли в народ образование и мораль, но и корчевали леса и осушали болота, не только создавали все еще сегодня цветущие виноградники и «сады» в самом прекрасном смысле этого слова ..., но также оставили отлично развитые во времена высокого средневековья методы выращивания виноградников и виноделия кропотливо переводили и сами писали теоретические теологические труды...<sup>15</sup>» По утверждению Макса Вебера, средневековые монахи были первыми людьми, ведущими рациональный образ жизни. Не следует забывать решающую инновационную роль средневековых монастырей в области технологии и организации хозяйства (например, организация распределения и употребления времени является открытием монастырей). Существенным для научного и технического развития было редкое или даже почти невозможное для античности сочетание созерцательно-теоретической и деятельно-практической составляющих общественной жизни, характерное для средневековых монахов.

Ориентация на опыт постепенно начинает ощущаться и в сфере философского осознания. Конечно, средневековых схоластов, как известно, интересовали не столько сами предметы, сколько сопоставление мнений, рассуждений об этих предметах. Однако на многочисленных диспутах об абстрактных понятиях оттачивались теоретический фундамент науки, умение превращать факты в понятия, логически строго рассуждать, исходя из немногих общих положений. Кроме того, уже Альберт Великий, Фома Аквинский, Роджер Бэкон, Вильям Оккам источником познания объявляли вещи, предметы, объекты. Наиболее явно эта ориентация на опыт прослеживается у *Роджера Бэкона*: «Имеются ведь два способа познания, а именно с помощью доказательства и из опыта. Доказательство приводит нас к заключению, но оно не подтверждает и не устраняет сомнения так, чтобы дух успокоился в созерцании истины, если к истине не приведет нас путь опыта»<sup>16</sup>.

Линия познания, названная Бэконом опытной, или экспериментальной, идет от вещей, которые воздействуют на органы чувств.

---

<sup>14</sup> Potthoff O.D. Kulturgeschichte des deutschen Handwerks mit besonderer Berücksichtigung seiner Blütezeit. Hamburg: Hanseatische Verlagsanstalt, 1938, S. 39.

<sup>15</sup> Borst O. Указ. соч., S. 170.

<sup>16</sup> Антология мировой философии. Т. 1. М.: Мысль, 1969, с. 872–873.

Причем это воздействие может быть или независимым от мышления, или подчиненным ему. В результате приобретаются знания эмпирического порядка (интуитивные, наглядные и др.). По мнению Бэкона, «без опыта ничего нельзя познать в достаточной мере», «доводов недостаточно, необходим опыт». Он иллюстрирует это следующим примером: если человек, который никогда не видел огня, попытается рассуждать о том, что огонь сжигает и разрушает вещи, его мозг не будет удовлетворен до тех пор, пока он не сунет в огонь свою руку или не бросит туда какую-либо горючую субстанцию, чтобы убедиться в этом на опыте. «Следовательно, все вещи должны быть проверены опытом»<sup>17</sup>. Как видим, меняется отношение к опытной науке, которая теперь рассматривается как дающая «совершенное знание», обладающая «великими преимуществами перед другими науками», ее приоритет обосновывается тем, что она «обладает удивительной пользой». Это прямо противоположно аристотелевской классификации наук, в соответствии с которой лучшей и высшей считается наименее полезная наука. По Аристотелю, «люди оказываются более мудрыми не благодаря умению действовать, а потому, что они владеют понятием и знают причины», «руководитель мудрее ремесленника, а умозрительные (теоретические) дисциплины выше созидających», «а из наук в большей мере считается мудростью та, которая выбирается ради нее самой и в целях познания, а не из-за ее последствий». «В самом деле, целью теоретического знания является истина, а целью практического — дело; люди практические даже и тогда, если они рассматривают как обстоит дело, не обращают внимания на вечное, а <берут предмет> в <его> отношении к чему-нибудь в настоящий момент. Но истину мы не знаем, не зная причину. ... Поэтому и наиболее истинным будет то, что для дальнейших вещей составляет причину истинности их»<sup>18</sup>.

По утверждению же Бэкона, опытная наука «предписывает, как делать удивительные орудия и как, создав их, ими пользоваться, а также рассуждает обо всех тайнах природы на благо государства и отдельных лиц и повелевает остальными науками, как своими служанками ...»<sup>19</sup>. Подобная пропаганда опытной науки была следствием изменения средневекового мирозерцания, перехода от распространенного в античности идеала непосредственного созерцания истины без вмешательства в дела природы к манипулированию с природными объектами для достижения истинного знания, о чем в античности было просто невозможно помыслить.

Кто же такой Роджер Бэкон, смело провозгласивший ведущую роль опыта в познании, считавший даже теологию бессильной без научной базы?

Роджер Бэкон (ок. 1214–1294) родился в Англии, в богатой дворянской семье. Точная дата его рождения не установлена, как, впрочем,

<sup>17</sup> The OPUS MAJUS of Roger Bacon. Vol. II. N.Y.: Russel & Russel, 1972, p. 583–584.

<sup>18</sup> Аристотель. Метафизика, кн. 1, гл. 1, 981a 15 — 982a 3 и гл. 2, 982a 4; кн. 2, гл. 1, 993b 31. М.-Л.: Соцэгиз, 1934.

<sup>19</sup> Антология мировой философии. Т. 1. М.: Мысль, 1969, с. 877.

и другие биографические данные, которые трактуются часто по-разному и даже противоречивым образом. Известно, что в 1267 г. он писал: «Я много работал в области наук и языков, а сорок лет назад я впервые начал изучать алфавит. Я все время учусь и лишь два года из этих сорока я не был на учебе (in studio)». Последняя фраза истолковывается как учеба в университете, а «изучение алфавита» — как начало занятий наукой. Если учесть, что в то время юноши начинали учебу в 12–13 лет, можно сделать вывод, что Бэкон родился около 1214 г.<sup>20</sup> Бэкон сообщает очень мало сведений о своей семье, отмечая лишь, что она позволила ему истратить за 20 лет огромную сумму (2000 фунтов) на получение степени магистра, покупку книг и проведение экспериментов. Бэкон учился, а затем преподавал в Оксфордском университете, где получил сначала степень бакалавра, а затем магистра. Но степени доктора теологии он так и не был удостоен<sup>21</sup>.

Особое влияние на его интеллектуальное развитие оказал Роберт Гроссетест, преподававший во францисканской школе Оксфорда с 1230 по 1235 г. Р. Бэкон приобрел известность своими лекциями на артистических факультетах (низший по статусу по отношению к теологическому факультет в средневековых университетах, где изучали главным образом философию в широком смысле слова, включая естественные науки и математику) в Оксфорде и Париже. «Во времена Бэкона ведущим университетом в Европе, несомненно, был Парижский университет, хотя по специальным предметам (таким, как право и медицина) приоритет отдавался другим университетам. Париж был под особым покровительством папства. Центр тяжести в учебных программах парижского университета находился в области искусств (т. е. различных отраслей философии) и теологии. Оксфордский университет испытал огромное влияние Парижа, в нем преподавались аналогичные курсы, и он был, вероятно, вторым по значению университетом после Парижского в области философии и теологии. И те англичане, кто считался наиболее выдающимися в Оксфорде, рассматривали получение места в Париже как венец их академической карьеры, если они сначала дополняли свое образование несколькими годами продвинутого обучения в Париже. Но в 30-х гг. XII в. Оксфорд имеет одно большое преимущество перед Парижем ...», поскольку в нем систематически изучают Аристотеля. Достоверно известно, что примерно в 1241–1245 гг. Бэкон читал в Париже публичные лекции, посвященные Аристотелю<sup>22</sup>.

В довольно зрелом возрасте Р. Бэкон вступил во Францисканский орден. Занимался самостоятельными исследованиями и экспериментами в области физики (прежде всего оптики), изготовлением линз, конструированием астрономических таблиц, читал лекции по

---

<sup>20</sup> *Little A. G.* Introduction: On Roger Bacon's Life and Works. In: Roger Bacon. Essays. Collected and Edited by A. Little. N.Y.: Russel & Russel, 1972, p. 1.

<sup>21</sup> *Easton S. C.* Roger Bacon and his Search for a Universal Science. Westport, Connecticut: Greenwood Press Publishers, 1970.

<sup>22</sup> Там же, p. 13–14, 45.

математике, естественным наукам и языкам. Его основные опубликованные работы — три объемистых тома — *Opus Majus*, *Opus Tertium*, *Opus Minus*, но наиболее значимой его научной работой считается *De multiplicatione specierum*, посвященная оптике. О наличии у Бэкона работ, посвященных теологии, данных нет, хотя он и интересовался теологией, рассматривая ее как высшую форму познания, выступал с общей критикой теологов и даже пытался создать своего рода теологию с помощью использования естественных наук. Бэкону принадлежит целый каскад естественнонаучных и технических идей, отношение к которым со стороны церкви и Францисканского ордена было негативным, вследствие чего публикация и распространение его идей были запрещены. В 1277 г. за нарушение этого запрета его лишают права преподавания, изгоняют из университета и Англии. С конца 1277 и до 1292 г. Бэкон находился во Франции. Известный американский историк науки Джордж Сартон следующим образом охарактеризовал противоречивость фигуры Р. Бэкона: «Бэкон очень верил в единство знания, но это единство объяснял подчинением всех знаний теологии — такая мешанина мистицизма и научного позитивизма была главной характерной чертой Бэкона ... Бэкон не был философом, но он был величайшим мыслителем всех веков»<sup>23</sup>.

*Opus Majus* («Большой труд») Роджера Бэкона — трактат о «пользе наук», написанный с целью убедить в практической полезности научного знания, — был задуман как введение к большой систематической работе под названием *Tractatus preambulus* обо всех науках, которую он надеялся написать впоследствии. При этом следует иметь в виду, что наука (*scientia*) понимается как «знание принципов и фактов», а под опытом подразумевается жизненный опыт. Когда Бэкон говорит, что схоласты не ставят опытов, то это еще не означает, что у них нет жизненного опыта, — просто они не проверяют свои теории опытом. Говоря о полезности наук, Бэкон имеет в виду прежде всего их полезность для церкви: знание древнееврейского и древнегреческого языков необходимо для правильного понимания текста Библии, поскольку ее смысл часто искажается неправильным переводом; география призвана служить миссионерам; знание оптики нужно для создания инструментов, улучшающих зрение, и зажигательных стекол, которые позволяли уничтожать города и армии врагов; математика полезна, например, для корректировки календаря, важного для точного установления церковных праздников. Полезность, таким образом, понимается как служение Господу. Этот перелом в мировоззрении, в отношении к практике и полезности, обусловил зарождение экспериментальной науки и проектного мышления в средневековье.

Еще более абсурдными кажутся нам идеи и изобретения другого ученого XIII в. *Раймонда Луллия*, рыцаря, менестреля, а затем философа, основателя Института востоковедения, которого иногда называют даже Лютером каталонского языка, родившегося в 1235 г. на острове Майорка.

---

<sup>23</sup> *Easton S. C. Roger Bacon and his Search for a Universal Science. Westport, Connecticut: Greenwood Press Publishers, 1970, p. 6.*

В возрасте 34 лет он выучил арабский язык и стал миссионером. По существующей легенде, когда Луллия пытался написать на родном каталонском языке очередную любовную песню, ему явился распятый Христос. Проспав неопределенное время, он попытался продолжить свое занятие, но не смог. Тогда он понял, что Господь призвал его посвятить всю жизнь служению Богу, и решил написать книгу, убеждающую неверных принять истинную веру — христианскую. Тогдашняя Майорка представляла собой мультикультурное и довольно мирно сосуществующее сообщество христиан, иудеев и мусульман. Луллия создал своего рода прообраз компьютера с целью путем автоматического изменения порядка букв преобразовать текст Корана в текст Библии и тем самым убедить мусульман принять христианство.

«Компьютер» Лулли состоял из трех кругов, вращающихся на общей оси. Каждый из них был разделен на три сектора, которые, в свою очередь, содержали по 9 букв — от В до К. Перестановка кругов в разные положения по отношению друг к другу составляла разные комбинации из этих букв. С помощью разработанных им таблиц, напоминающих периодическую систему химических элементов, отдельные буквы получали каждый раз новое значение: первая таблица содержала семь существенных атрибутов — добро, величина, продолжительность, сила, свободная воля, добродетель, искренность и честь; вторая — понятия для обозначения соотношения вещей — например, различие, согласованность, противоположность, причина, влияние и т. п.; третья включала в себя существенные вопросы: в силу чего, сколько, как сделать, когда, где и т. д.; остальные таблицы содержали по девять понятий из всех возможных областей знания — теологии, философии, естествознания, права. Комбинируя эти буквы на кругах и их различное смысловое содержание на таблицах, можно было составить исчерпывающее множество вопросов, утверждений и ответов. Лишь через 300 лет Лейбниц успешно применил эту систему для разработки юридических текстов.

Эта деятельность окончилась для Р. Лулли трагически: в возрасте 84 лет во время миссионерской поездки по северному побережью Африки он был побит камнями фанатичными приверженцами Корана и скончался на корабле по дороге домой<sup>24</sup>. Сконструированный им прибор («буквенная мельница») должен был также служить на пользу церкви, как и изобретения Р. Бэкона.

В предпоследней главе к *Opus Majus* под названием «*Scientia experimentalis*» Бэкон рассуждает о месте обычного жизненного опыта в теоретической схеме универсальной науки. Функция «экспериментальной науки» (точнее сказать, «науки об опыте») — проверка выводов, полученных другими науками с помощью рассуждения. Так же, как никакая наука невозможна без математики, полное и проверенное знание невозможно без обращения к методам «экспериментальной науки». «Экспериментальная наука» получает истинное знание, недостижимое никакими другими специальными науками, но, используя и комбинируя знания других наук, она «способна исследовать тайные действия природы, чтобы предсказать ход событий и изобрести

<sup>24</sup> *Vollmer W.* Ramon Llull ein Wegweiser aus 13. Jahrehungert. Mallorca: Santuari de Nostra Dona de Cura, 1996; *Bexte P., Künzel W.* Lullus oder was der Computer im Mittelalter konnte. Frankfurter Allgemeine Magazin, Heft Nr. 452 vom 28. Oktober 1988.

орудия или машины удивительной силы»<sup>25</sup>. Критикуя схоластов за то, что они не проводят эксперименты, Бэкон не утверждает, что у них вообще нет никакого жизненного опыта, — он лишь подчеркивает, что они не проверяют свои теории опытом<sup>26</sup>. Он отвергает не всякий авторитет, а лишь софистический; истинный авторитет (к которому он в первую очередь относит Аристотеля, Аверроэса и Авиценну), впрочем, является источником веры, а не знания. «Авторитет приводит не к пониманию, а к легковерию; мы верим авторитету, но лишь проверка опытом решает вопрос об истинных данных, сообщаемых авторитетом». Фактически имеется три способа познания: авторитет, рассуждение и опыт. Богу и творению, т. е. природе, как двум основным видам реальности соответствуют и два вида опыта — внутренний и внешний. Святые истины познаются с помощью внутреннего озарения, внешний чувственный опыт человека помогает найти причину тайн природы и искусства. Таким образом, по Бэкону, божество доступно не чувственному и не разумному познанию, а лишь мистической интуиции (дающей новые знания человеку в результате божественного откровения), которая, впрочем, не играет существенной роли в познании природы. Разделяя озарение и чувственность, он различает пассивный и деятельный разум. Первый связан с телесной организацией человека, а второй представляет собой особую субстанцию, проникающую в человеческое сознание извне. Ученый не должен быть пассивен, он обязан помогать природе своим искусством, в частности, создавая подходящие инструменты. «Существует естественный и несовершенный опыт, который не отдает себе отчета в своих приемах; выше его, выше всех умозрительных знаний и искусств стоит умение производить опыты, и эта наука есть царица наук»<sup>27</sup>.

Несмотря на то, что его «экспериментальная наука» занимает ключевую позицию в «универсальной науке», сам Бэкон вряд ли ставил сложные и дорогостоящие физические или алхимические опыты (за исключением оптических, не требующих какого-либо специального дорогого оборудования). «Его знания, описанные в *Opus Majus*, взяты из книг и из устных источников»<sup>28</sup>. Это объясняет тот факт, что большую часть главы, посвященной «экспериментальной науке», занимают результаты наблюдений за радугой и связанными с ней явлениями, например появление цветной «короны» вокруг солнца и звезд, подобной радуге. При этом он отмечает, что «ни Аристотель, ни Авиценна в своей Естественной истории не дают нам знаний о явлении подобного рода, ни Сенека, который составил специальную книгу о нем. Но экспериментальная наука свидетельствует о нем»<sup>29</sup>.

<sup>25</sup> Little A. G. Introduction: On Roger Bacon's Life and Works. In: Roger Bacon. Essays. Collected and Edited by A. Little. N.Y.: Russel & Russel, 1972, p. 19.

<sup>26</sup> Easton S. C. Roger Bacon and his Search for a Universal Science. Westport, Connecticut: Greenwood Press Publishers, 1970, p. 7.

<sup>27</sup> Трахтенберг О. В. Очерки по истории западно-европейской средневековой философии. М., 1957, с. 158–163.

<sup>28</sup> Easton S. C. Указ. соч., p. 113.

<sup>29</sup> The OPUS MAJUS of Roger Bacon. Vol. II. N.Y.: Russel & Russel, 1972, p. 588.

Гораздо ближе к современному экспериментализму находится *Петр из Марикюра*<sup>30</sup> по прозвищу «Перегринус». Именно к нему как нельзя более может быть применена характеристика «мастера эксперимента», которую Бэкон дал в своем трактате *Opus Tertium*: «посредством эксперимента он собирает знания о природных вещах, медицинских, химических и действительно обо всем на небе и земле. Он стыдится игнорировать вещи, известные мирянину, старой женщине, солдату, пахарю. Поэтому он внимательно наблюдает за действиями тех, кто работает с металлами и минералами различного рода; он знает все относительно военного искусства, производства оружия, и преследования; он внимательно следит за сельским хозяйством, землемерием и работой на ферме»<sup>31</sup>. Возможно, Бэкон, давая такую характеристику мастера эксперимента, и имел в виду Петра из Марикюра, участника крестовых походов, рыцаря, вероятно, осуществлявшего и инженерные работы, автора известного произведения «Письмо о магните», где он излагает и конкретные эксперименты, и конструкцию приборов, и некоторые общие положения экспериментальной науки<sup>32</sup>. Не исключено также, что Петр Перегринус кое-чему научился от Роджера Бэкона, излагая свой экспериментальный метод: «Вы должны осознать, дражайший друг, что поскольку исследователь должен в своем предмете понять природу и не быть несведущим относительно небесных движений, он должен так прилежно использовать свои собственные руки, чтобы, действуя с этим магнетитом, он мог показать удивительный результат. С помощью своего трудолюбия он сможет тогда в короткое время скорректировать ошибку, чего бы он никогда не сделал с помощью одного только знания философии природы и математики при недостатке усердия в руках. При исследовании неизвестного нам очень требуется трудолюбие рук, без которого мы ничего не сможем выполнить в совершенстве. Все еще существует множество вещей, находящихся во власти разума, которые мы не можем полностью исследовать с помощью рук»<sup>33</sup>.

В первой главе «Письма о магните» излагается теория магнита, но не гипотезы, а лишь твердо установленные результаты; во второй главе представлены методы экспериментальной науки; в третьей главе

---

<sup>30</sup> О Петре из Марикюра известно очень мало. Неизвестны точные даты его рождения и смерти, недостоверны данные его биографии. Однако известно, что свое знаменитое «Письмо о магните» он написал в 1269 г. и этот относительно краткий (по сравнению с писаниями средневековых философов) документ свидетельствует о наименее известной особенности средневековой науки — начале экспериментирования. Петр из Марикюра был участником крестового похода, а возможно, и инженером, участвовавшим в осаде г. Люцерия (в Палестине). Как свидетельствует его «Письмо...», он был довольно образованным по тем временам человеком.

<sup>31</sup> *Crombie A. C. Robert Grosseteste and the origin of experimental science 1100-1700. Oxford: At the Clarendon Press, 1971, p. 205*

<sup>32</sup> *Schlund E. Petrus Peregrinus von Maricourt. Sein Leben und seine Schriften. (Ein Beitrag zur Baco-Forschung). In: Archivum Franciscanum Historicum (Quaracchi), 1911, IV.*

<sup>33</sup> *Crombie A. C. Указ. соч., p. 207-208.*



даны специфические характеристики магнитита вообще и хорошего в частности; в четвертой главе рассмотрено два метода, с помощью которых на магнитите можно установить полюса; в пятой главе приводится эксперимент по различению полюсов; в шестой главе описываются эксперименты по взаимодействию двух магнитов; в седьмой главе формулируется закон о намагничивании с помощью покраски, что было уже известно и до Перегринуса. В последней (десятой) главе Петр Перегринус прежде всего опровергает гипотезу о том, что магнит получает свою магнитную силу от расположенных на севере залежей магнетита. Так как магнитная руда найдена в самых различных местах, то магнит должен был бы двигаться в направлении этих мест. С таким же успехом можно выдвинуть гипотезу о том, что на магнит влияют все части неба. Во второй части этой главы даются практические и теоретические указания относительно конструирования трех магнитофизических устройств: астрономического инструмента для определения азимута, который должен дополнить астролябию, применяющуюся тогда для определения высоты расположения звезд (правда, этот довольно искусно придуманный инструмент, состоящий в сущности из переносных солнечных часов, был, по мнению самого Петра Перегринуса, весьма непрактичным и неточным); ручного инструмента, применяемого одновременно и как компас и как солнечные часы (его конструкция весьма напоминает современный компас), и детища самого Петра Перегринуса — *perpetuum mobile*, который невозможно создать, но в успехе создания которого у автора не было и тени сомнения. Он довольно подробно описывает вечный двигатель: «Машина состоит из полого серебряного колеса, которое удерживается, если укрепляются одно на другом два полых зеркала с отверстиями. Оно отчеканено и на внутреннем ранте имеет изогнутые железные зубцы. На оси, вокруг которой это колесо должно вращаться, установлен штифт, на котором несколько наискось закреплен магнит. Теперь должен следующий железный зубец притянуться северным полюсом магнита; однако благодаря мертвой силе колеса он переносится через северный полюс к южному. Вследствие этого приближается уже следующий зубец, который проделывает тот же самый путь. Кроме того, к аппарату приделан маленький серебряный шар, чтобы еще более ускорить движение. Он поднимается вверх специально для этого сконструированными зубцами и падает затем сверху вниз на нерабочую грань другого зубца, с которой он соскальзывает и этим сдвигает его вперед»<sup>34</sup>. Конструирование *perpetuum mobile* — это уже явный крен в сторону проектного мышления, предвестник проектной культуры.

Немаловажную роль в становлении эксперименталистского научного мировоззрения и проектного мышления сыграла средневековая алхимия, располагавшаяся в средневековой культуре между техническим ремеслом и натурфилософией и даже причудливым

---

<sup>34</sup> Schlund E. Petrus Peregrinus von Maricourt. Sein Leben und seine Schriften. (Ein Beitrag zur Vaco-Forschung). In: Archivum Franciscanum Historicum (Quaracchi), 1911, IV, S. 636–641.

образом комбинирующая их. «В самом деле, теоретизирование алхимиков практично по преимуществу в смысле цели, хотя и заранее безнадежно; практика же умозрительна, эфемерна и живет лишь в слове, да и то тайном, темном. Вещественная же фактура алхимической лаборатории совпадает с фактурой мастерской технокимика-ремесленника. *Ар-Рази* (IX—X вв.) свидетельствует, например, что почти «*все приборы (алхимической лаборатории. — В.Г.) можно найти у золотых дел мастера*»<sup>35</sup>. Переход алхимика от мифотеоретических принципов к алхимической практике всегда является ребусом для современного исследователя. Любой конкретный алхимический рецепт представляет собой сплав квазипрактического алхимического действия с его сокровенным космическим смыслом. Поэтому средневековый алхимический рецепт можно уподобить ритуалу, вписанному в систему мифологического мышления. «Подобно этому и вещь рассматривалась не как простая наличность, исчерпываемая своими внешне обнаруживающимися свойствами. Так, вещь, изготовленная мастером, появляется в силу того, что имеется, конечно, совокупность приемов-предписаний (утвержденных, отчетливо определенных, алгоритмичных) по ее изготовлению, но сам этот рецепт сохраняется в тайне и, кроме того, в появлении вещи участвует *тайное искусство* мастера — *превосходящий* всякое предписание акт творения, вкладывающий в произведение его субстанциальную форму»<sup>36</sup>. Средневековое знание всегда стремится быть энциклопедичным, что выражается и в философском трактате, и в отдельном алхимическом или ремесленном рецепте. Поэтому рецепт ремесленника представляет собой не только практическое предписание к выполнению определенного конкретного действия, но и собрание всего — от практических замечаний и наблюдений до ветхозаветных истин. За всем этим кажущимся хаосом просматривается квазитеория, выстраивающая стройную иерархию божественного и человеческого.

Поскольку всякое изучение мудрости делится по Р. Бэкону на две части — теоретическую (спекулятивную) и практическую (оперативную), следует различать спекулятивную и практическую алхимию. Алхимия понимается им как неорганическая медицина и входит наряду, например, с оптикой, астрономией, медициной в состав физических наук. Предмет спекулятивной алхимии — происхождение всех неживотных вещей из их элементов, предмет практической алхимии — главным образом очищение металлов. Однако обе эти части органично связаны между собой. Средневековый алхимик не просто совершает конкретные технологические действия, а творит магическую процедуру — например, трансмутация железа в золото не просто химическое превращение одного в другое, а поиск философского камня. Золото для алхимика не просто металл, а философский принцип («золотость»), содержащийся во всех вещах, знак совершенства.

---

<sup>35</sup> Рабинович В.Л. Алхимия как феномен средневековой культуры. М.: Наука, 1979, с. 24.

<sup>36</sup> Ахутин А.В. История принципов физического эксперимента: От античности до XVII века. М.: Наука, 1976, с. 122.

Бэкон верит в возможность трансмутации металлов — например, по его мнению, золото можно изготовить тем же способом, каким изготовляет его природа. Он называет элементами своеобразные виды вещества: золото, серебро, медь, свинец и т. д., — из комбинации которых и образуются все вещи. Различные элементы проявляются в разных формах деятельности, но каждый из них действует самобытным образом. Различные свойства вещей обусловлены разным количественным соотношением элементов, поскольку каждый элемент может сочетаться с любыми другими элементами и самым разнообразным способом. Материальные изменения предметов объясняются большим и меньшим прибавлением (втечением) или убавлением (истечением) элементов. Цвет, запах, вкус — это признаки, по которым могут быть узнаны и различены разные телесные вещи<sup>37</sup>.

Бэкон подробно обсуждает проблему возникновения и уничтожения элементарных форм. С его точки зрения, форма не входит в материал как нечто совершенно законченное, а постепенно вырастает, проходя ряд бесконечно многих промежуточных ступеней. Тогда возникновение и уничтожение не являются лишь приобретением или утратой готовой формы, а представляют собой постоянный переход от чистой возможности к полному актуальному существованию, и наоборот. Подобно последовательности различных ступеней формы (от низших до высших), имеет место соответствующая им последовательность ступеней специфической материи, которая на каждой такой ступени подчиняется каждый раз отдельной форме, и находящаяся на более низком уровне материя потенциально принадлежит высшей материи, как низшая форма — высшей форме. Особое место в алхимии занимает проблема смешивания. Бэкон рассматривает эту проблему, исходя из решения практической задачи: из каких элементов возникают соединения, в первую очередь металлы. Каждый элемент состоит из элементарной формы и предписанной ей специфической материи, причем обе они являются простыми. В смеси как со стороны материи, так и со стороны формы возникают два природных посредника — формальный и материальный. Существуют два формальных посредника: один из них располагается между теплым и холодным, второй — между влажным и сухим. Причем первый из них, по Бэкону, является более благородным и сильным, поэтому оба посредника могут быть слиты в одну форму. Согласно Аристотелю оба эти компонента могут быть объединены только в том случае, когда один из них существует актуально, а другой потенциально. То же происходит и с материальной стороной вещи. Бэкон признает участие материи в процессе смешивания: для составления высших тел решающим обстоятельством должны быть не только элементарные формы и качества, но и специфические материи элементов. Таким образом, возникновение и уничтожение элементарных форм понимается им

---

<sup>37</sup> Трахтенберг О. В. Очерки по истории западноевропейской философии. М.: Политиздат, 1957, с. 153–154.

как возрастание и уменьшение актуального бытия в диапазоне от чистой потенции до чистой действительности<sup>38</sup>.

Задача алхимика — привести вещи к наиболее совершенной стадии. Именно оперативная (или практическая) алхимия учит, как изготовить с помощью искусства благородные металлы и краски и многие другие вещи, лучше и в большем количестве, чем это может сделать природа. Роджер Бэкон подчеркивает своеобразную полезность алхимического знания и большую важность алхимии по сравнению с другими науками, поскольку она более продуктивна и ведет к большим выгодам, не только обеспечивая государство деньгами, но и обучая способу продолжения жизни настолько, насколько этого допускает сама природа<sup>39</sup>.

Античное понимание практики как независимой от науки и понимание науки как независимой от практики постепенно вытесняются. Искусство и технику начинают воспринимать как действие и его результат, в основе которых лежит божественный замысел, план, постижение которого и есть основная задача философии и науки. Этому пониманию значительно способствовало неоплатоновское представление природного чувственного мира в качестве эманации (истечения) божества. В этом случае познание мира, действия с природными вещами становятся познанием Бога-Творца. По Бэкону, «духовные вещи познаются через телесные следствия и Творец — через творение»<sup>40</sup>. Возможно, это убеждение возникло под влиянием его занятий алхимией. Наука должна изучать мир, опираясь на опыт, действия с природными объектами, а техническая практика должна быть освещена наукой.

Отсюда уже недалеко до осознания рациональных основ технического действия, характерных для инженерного мышления. Роджер Бэкон пытается применить теоретические дисциплины — в первую очередь, геометрию и перспективу — в технической практике, став автором многочисленных «инженерных» фантазий. Он предлагает обработку линз и создание инструмента, при помощи которого «отдаленные предметы покажутся близкими, и наоборот». При посредстве «особых стекол» можно «солнце, луну и звезды кажущимся образом спустить вниз и показать над головой наших врагов», «можно дать такую форму (прозрачным телам), что скрытое станет видимым». Эти «инженерные» фантазии основаны на признании практической, созидательной силы знания, проектны по своей интенции и отрицают мифомышление. Описываемые Бэконом «чудеса» вполне рациональны и в принципе реализуемы (например, он считается создателем очков). Зашифровка же им практических рецептов лишь свидетельствует об отсутствии в тогдашней науке понятийных средств для такого

<sup>38</sup> Maier A. *An der Grenze von Scholastik und Naturwissenschaft*. Roma & Editioni di storia e letteratura, 1952, S. 74–51.

<sup>39</sup> Pattison Muir M. M. *Roger Bacon: His Relations to Alchemy and Chemistry*. In: *Roger Bacon. Essays. Collected and Edited by A. Little*. N.Y.: Russel & Russel, 1972, p. 292, 307, 317–318.

<sup>40</sup> Антология мировой философии. Т. 1. М.: Мысль, 1969, с. 869.

рода описаний. Р. Бэкон вполне определенно подчеркивает: «Не надо прибегать к магическим иллюзиям, когда науки достаточно, чтобы произвести действие»<sup>41</sup>.

Р. Бэкон повествует о ряде технических чудес, в которых уже нет ничего тайно-магического и принципиально невозможного. Это уже близко к зарисовкам и «проектам» Леонардо да Винчи. Однако ни сам Бэкон, ни тогдашняя ремесленная техника не были готовы реализовать его инженерные фантазии. Он четко разграничивает эту неосознанную ремесленную техническую практику и практическое действие, основанное на науке: «Существует естественный и несовершенный опыт, который ... не отдает себе отчета в своих приемах; им пользуются ремесленники, но не ученые. Выше его, выше всех умозрительных знаний и искусств стоит умение производить опыты, и эта наука царица наук»<sup>42</sup>. В то же время Бэкон подчеркивает огромное значение математики для естествознания, науки в целом. Это еще только декларация, но уже весьма ощутимый шаг в сторону зарождения методологии экспериментального и математизированного естествознания.

Математику он называет вратами и ключом естественных наук, алфавитом философии. «Физики должны знать, что их наука бессильна, если не призовут в помощь математику»<sup>43</sup>. Впрочем, математика включает в себя, по Бэкону, астрономию, астрологию, музыку, арифметику и геологию. Вывод о центральной роли математики был сделан Бэконом на основе его оптических исследований, в которых геометрические формы со всей очевидностью составляют сущность физических явлений. По Бэкону, все природные явления (происхождение, изменение, трансформация и др.) должны рассматриваться как результат применения силы к материальному агенту. Материя и сила в его представлении — это фундаментальные физические идеи, а сила — неизменный предмет математического закона. «Она распространяется, или, как он говорит, мультиплицируется равномерно и регулярно в пространстве и во времени и может быть, следовательно, выражена линиями и фигурами. Геометрия, поэтому, абсолютно необходима для объяснения действия природных агентов ...»<sup>44</sup>. Наряду с теоретической геометрией он упоминает практическую геометрию, т. е. землемерие, инженерное искусство и конструирование приборов и инструментов. Наиболее ясно эта идея математизации (точнее, геометризаци) науки демонстрируется Бэконом на материале оптики. Впрочем, здесь он солидарен с Р. Гроссетестом, который, занимаясь исследованиями по оптике, писал: «Все причины природных явлений могут быть выражены с помощью линий, углов, фигур, иначе невозможно постичь их объяснение»<sup>45</sup>.

---

<sup>41</sup> Трахтенберг О. В. Указ. соч., с. 178.

<sup>42</sup> Там же, с. 163.

<sup>43</sup> Easton S. C. Roger Bacon and his Search for a Universal Science. Westport, Connecticut: Greenwood Press Publishers, 1970, p. 15.

<sup>44</sup> Там же, p. 16.

Оптика — учение о перспективе — это наука о лучисто распространяющихся явлениях. Причем геометрическая и физиологическая оптика сочеталась в средневековье с метафизикой света. Бэкон основывается в своих оптических исследованиях на философии света (неоплатоновской по духу) своего оксфордского учителя *Роберта Гроссетеста*, написавшего трактат «О свете» (*De luce*). Философия света, по Гроссетесту, состоит из следующих частей: эпистемология света, в которой доказывается, что интеллигибельные вещи постижимы только в том случае, если они освещаются духовным светом; метафизика или космология света; физика света; теология света, которая использует световые метафоры для выражения теологических истин. Свет распространяется прямолинейно, посредством лучей, которые исходят от всех точек предмета. Божественное просветление, подобно световому лучу, проникает в души совершенные и чистые, преломляется в душах несовершенных и, отражаясь, не проникает в души дурные и нечистые. Свет — это тонкая телесная субстанция, приближающаяся по степени своей разряженности к бестелесности, к той божественной форме, которая существует вообще без всякой материи. Свет как форма телесности является и самой благородной, и более совершенной сущностью, чем все остальные формы. Свет в качестве первой телесной формы, неотделимой от материи, является активным началом всех вещей и основой всех их взаимодействий. Бог создал световую точку и заключил ее в первую материю, но и сама эта световая точка, и материя лишены протяжения. Свет по своей природе рассеивается во всех направлениях таким образом, что световая точка будет тотчас же создавать сферы любых размеров<sup>45</sup>. Здесь явно прослеживается влияние учения неоплатонизма об эманации: все, что существует, производит образ или подобие себе непосредственно в собственном окружении.

В этом смысле изучение оптических явлений не является конечной целью средневековых оптических исследований. Речь идет о познании природы, а посредством этого — познании божественного. Каждое явление природы выражает закономерность универсума, где все находится в гармонии и взаимовлиянии, прежде всего чувства и природа. Посредником любого телесного влияния является свет, отображающий первоначальный божественный свет. Интеллигибельное влияние также осуществляется через свет, божественный свет, который представляет собой начало, середину и конец всего сущего, из чего все происходит, благодаря чему все сохраняется и к чему все обращается. Причем интеллигибельное и телесное царства тесно взаимосвязаны в едином бытии. Высшие небесные сферы телесного мира, состоящие из нестареющей и неизменной субстанции, близки по

<sup>45</sup> Lindberg D. C. Introduction. In: Roger Bacon's *Philosophy of Nature*. Oxford: Clarendon Press, 1983, p. lii.

<sup>46</sup> Лосева И. Н. К проблеме генезиса науки // Вопросы истории естествознания и техники. 1981, № 3; Lindberg D. C. Introduction. In: Roger Bacon's *Philosophy of Nature*. Oxford: Clarendon Press, 1983; Crombie A. C. *Robert Grosseteste and the origin of experimental science 1100–1700*. Oxford: At the Clarendon Press, 1971.

своей сущности интеллигибельному, духовному миру и в силу этого исходящий от небесных тел свет является одновременно носителем форм, с помощью которого образцы всех вещей в божественном духе, т. е. идеи творения, переносятся в природу и репродуцируются, копируются там многообразными способами. Именно таким образом на крыльях света переносится божественная сила в низший мир при посредстве влияния небесных сфер. Все это очень напоминает неоплатоновскую теорию эманации и света, модифицированную с целью приближения к христианскому учению<sup>47</sup>.

Следует, однако, отметить, что работы Плотина были неизвестны в средние века и его влияние на Бэкона и его современников могло быть лишь опосредованным (через арабские философские источники). Огромное влияние на работы Бэкона и его современников, посвященные оптике, оказал Альхазен (род. в 965 г. н.э.), арабский ученый, приглашенный халифом Аль-Хакимом в Египет для разъяснения регулирования нильских разливов, затем живший в Каире и написавший трактат «О свете», — вероятно, в начале XIII в. переведенный на латинский язык<sup>48</sup>.

Уточняя понятия теории перспективы, Бэкон говорит о необходимости различения светового потока (*lumen*) и освещенности, свечения (*lux*). Световой поток, проходя через окно или любое другое отверстие, становится видимым человеческому глазу. Свечение, освещенность является качеством светящегося тела, подобно огню или звезде, а световой поток является тем, что размножается или порождается этим свечением, и тем, что производится в воздухе или других разреженных средах. Центральным понятием его оптики является понятие *специи* (*species*), означающее первичный результат какой-либо естественно действующей вещи. Синонимами этому понятию являются понятия «образ», «идол», «фантом» и др. Поясняя смысл этого понятия на примере, Бэкон говорит, что свет (*lumen*) от солнца в воздухе — это *специя* солнечного свечения на теле солнца. Это вторичное дейст-

---

<sup>47</sup> Bauemker C. Witelu, ein Philosoph und Naturforscher des XIII. Jahrhunderts. Münster: Druck und Verlag der Aschendorffschen Buchhandlung, 1908.

<sup>48</sup> Эту зависимость от арабских источников прекрасно демонстрирует трактат «Перспектива» Витело — другого средневекового ученого. Витело родился около 1230 г. в Силезии, учился с 1260 г. в падуанском университете философии, математике и естественным наукам. Трактат «Перспектива», опубликованный в 1270 г., представляет собой в значительной степени пересказ работы Альхазена по оптике, причем не с арабского оригинала, а с латинского его перевода. Не будучи оригинальным автором, Витело был блестящим и всеобъемлющим компилятором, теоретиком и систематизатором. Он стремился скрупулезно собрать имеющиеся данные, дополнить их и так организовать полученное целое, чтобы оно было хорошо обозримым. Следует также иметь в виду, что это произведение было своего рода учебным пособием и никакое другое издание не пользовалось такой популярностью, как это, в течение нескольких столетий. Кроме того, и сам Альхазен был не так уж оригинален. Он опирался не только на достаточно хорошо развитую к тому времени арабскую традицию; в начале X в. арабы активно занимались переводом древнегреческой и индийской литературы, а также использовали персидские и семитские источники (Bauemker C. Witelu, ein Philosoph und Naturforscher des XIII. Jahrhunderts. Münster: Druck und Verlag der Aschendorffschen Buchhandlung, 1908).

вие — *специя* — называется часто «подобием» или «образом» той вещи, которая его производит, с которой оно является подобным и которую оно имитирует. Мультипликация, распространение *специй* происходит посредством последовательного копирования их сначала в первой части медиума (среды), затем полученная *специя* порождает новую *специю* во второй части среды и т. д. В этом и заключается, в сущности, физическое учение Р. Бэкона о распространении сил.

В бэконовской оптике, как, впрочем, и во всех оптических трактатах того времени, подробно описываются анатомия глаза и физиология зрения. Зрение совершается не в глазе, а в нерве, и распадается на два акта: движение лучей от предмета к глазу и от глаза к мозгу, являющемуся «сидящим ощущений», где и осуществляется собственно зрительный акт. Глаз имеет, как отмечал еще Аристотель, влажную природу. Он состоит из трех жидкостей, разделенных четырьмя перегородками. Сила зрения помещается в середине глаза — в кристаллике. В передней части большого водянистого шара находится прозрачная стеклообразная жидкость (линза). Зрительный нерв состоит из двух находящихся одна на другой полых влагалищ, содержащих прозрачную, тонкую субстанцию, которая передает зрительную силу от мозга к глазу<sup>49</sup>.

Важным практическим приложением учения о перспективе, являющимся связующим звеном с эпохой Возрождения, было искусство живописи. И здесь влияние Бэкона прослеживается особенно четко. Философы и художники исследовали перспективу с различных позиций: первые стремились открыть механизмы, с помощью которых люди воспринимают окружающий мир, вторые — разработать средства для убедительного представления, изображения этого мира<sup>50</sup>. Р. Бэкон одним из первых философов начал использовать в художественной практике знания, полученные в результате исследований цвета и света в оптике. Он заметил, что церковная живопись важна не только для пасты, но и для проповедников, поскольку могла стать прекрасным иллюстративным материалом при изучении Библии<sup>51</sup>. Однако, по его мнению, тогдашний уровень церковной живописи не позволял ей выполнять эту функцию. Бэкон обвинил теологов, которые были

<sup>49</sup> *Baumecker C.* Witelo, ein Philosoph und Naturforscher des XIII. Jahrhunderts. Münster: Druck und Verlag der Aschendorffschen Buchhandlung, 1908.

<sup>50</sup> *McLean A.* Architektur der Frührenaissance in Florenz und Mittelitalien. In: Die Kunst der italienischen Renaissance. Hrsg. Von R. Toman. Köln: Künemann, 1994, S. 106.

<sup>51</sup> «Если такие произведения искусства, как Ноев ковчег почти бесконечное число раз можно найти в тексте, то почти невозможно понять смысл написанного, если человек не представит себе эти вещи нарисованными. Именно так святые и ученые древности использовали различные картины и фигурные представления, чтобы глазу открылась истина текста и таким образом также духовная (истина). Однако никто не был бы в состоянии предложить размышления такого рода о представлении тел или дать указания, если он не знаком наилучшим образом с книгами ... математиков. ... среди же теологов господствует огромное невежество. Конечно, само по себе чувственное восприятие было бы уже прекрасным, однако еще прекраснее, если мы увидели бы сегодня образ нашей истины, но самое прекрасное, если мы, побуждаемые нашими органами зрения, насладились бы рассмотрением духовного и буквального содержания текста, так как мы тогда знаем, что теперь все в божественной церкви является совершенным»



заказчиками церковных картин и делали их наброски, в отсутствии у них малейшего представления о геометрии и теории перспективы, т. е. оптике. Если же создавать эти произведения, основываясь на имеющихся научных знаниях, т. е. в наглядном представлении трехмерных форм, то, по его мнению, «все, о чем нам сообщает Библия, было бы воспринято так, как будто это происходило сегодня». Бэкон сетовал на руководство христианской церковью, которое должно было бы инициировать реформу в этой области. «Имеются три-четыре человека, пригодные для этого», — писал он, имея в виду не художников, а теологов, подобных ему самому или Вителло.

Для того чтобы инициировать такого рода реформу, в 1268 г. он послал свой труд папе римскому Клементу IV, который, к сожалению, умер в том же году<sup>52</sup>. Вероятно, в Париже Бэкон познакомился с преемником папы, который после избрания его на папский престол запросил труды Бэкона, не обращая внимания на запреты со стороны руководства Францисканским орденом. Таким образом, труды Бэкона были известны и, несомненно, оказали влияние на его современников — ученых и церковных деятелей, а также художников, например Джотто. Прослеживается отчетливая связь между фресками Джотто с его концепцией пространства и математическими рассуждениями о перспективе Р. Бэкона, которые стимулировали новое художественное рассмотрение природы. Такое натуралистическое представление могло достигаться различными способами: с помощью индивидуального оформления изображаемых персон, световых эффектов, цветовых композиций, структурирования сцены, подчеркивания глубины пространства, за счет учета психологических аспектов восприятия картины, например имитации и т. п. Речь шла, таким образом, о требовании переструктурирования искусства живописи в соответствии с законами «естественной перспективы» с целью лучшего усвоения верующими библейского материала. При этом понятия «геометрия» и «перспектива» в данном случае очень тесно переплетаются<sup>53</sup>.

Большее значение, чем теоретическая геометрия, имеет для Бэкона практическая геометрия, включающая в себя архитектуру, механическую и гражданскую технику, построение астрономических, оптических и других инструментов. В *Opus Tertium* он пишет, что «инструменты и таблицы практической геометрии имеют огромное прикладное значение». Поэтому важную роль в обществе смог бы играть человек, имеющий обширные познания в области оптики и знающий способы построения ее инструментов. Оптика как наука об истинном зрении занимает центральное место именно потому, что с помощью зрения мы познаем все вещи; кроме того, изготовление

---

и это представляется нашим глазам в качестве видимой формы. И поэтому я верю, что для исследователя божественной мудрости ничто не является более уместным, как осовременить перед своими глазами геометрически сконструированные явления такого рода». (Bergdolt K. Bacon und Giotto. Zum Einfluß der franziskanischen Naturphilosophie auf die Bildene Kunst am Ende des 13. Jahrhunderts. In: *Medizinhistorisches Journal*, (Stuttgart) 1989. Vol. 24, S. 36).

<sup>52</sup> Perrig A. Malerei und Skulptur des Spätmittelalters. In: *Die Kunst der italienischen Renaissance*. Hrsg. Von R. Toman. Köln: Könemann, 1994, S. 49–52.

<sup>53</sup> Bergdolt K. Bacon und Giotto. Zum Einfluß der franziskanischen Naturphilosophie auf die Bildene Kunst am Ende des 13. Jahrhunderts. In: *Medizinhistorisches Journal*, (Stuttgart) 1989. Vol. 24, S. 25–41.

астрономических инструментов также осуществляется в соответствии с законами этой науки. Тем не менее, сетует Роджер Бэкон, оптика мало известна в Париже и в ученом латинском мире, за исключением, пожалуй, пары оксфордских ученых в Англии (он, вероятно, имеет в виду Гроссетеста и себя самого); да и вообще найдется не более трех персон, знакомых с ее возможностями. Действительно, оптика Бэкона является прогрессом по сравнению с оптикой Альхазена именно потому, что он был убежден в необходимости изучения параболических зеркал, возможности создания телескопа, а также многих машин удивительной силы действия, что и составляет для него предмет практической геометрии. (Правда, здесь он выступает скорее как провидец, поэт, а не ученый)<sup>54</sup>. Его приверженность геометрическому стилю мышления доказывают многочисленные чертежи, сопровождающие его собственные и заимствованные им у других результаты исследований.

Интересен способ выстраивания Бэконом взаимоотношений прикладной геометрии и технической практики. В *Opus Tertium* он поясняет эти взаимоотношения на примере зажигательного стекла: геометр не изготавливает зажигательное стекло, но изучает принципы, в соответствии с которыми оно должно быть изготовлено; техника-практика же интересуют лишь практические результаты его исследований, помогающие ему изготовить такое стекло. Однако по Бэкону техник-практик (ученый-практик) имеет еще одну важную задачу: он должен узреть те возможности, которые предоставляет каждая отдельная наука, и визуализировать на основе работ математика теоретическую возможность создания, например, летающей машины; он должен извлечь для этого из выводов этих работ те идеи, которые могли быть применены в малом масштабе. Если вернуться к примеру с зажигательным стеклом, то практик должен суметь увидеть, что, руководствуясь теми же принципами, которые были применены для использования зеркал с целью сжигания любого горючего материала на большом расстоянии, можно построить систему зеркал, позволяющую наблюдать противоположную сторону Ла-Манша, что, по некоторым свидетельствам, и сделал Юлий Цезарь. Такой практик находится на более высоком уровне, чем математик или ученый-синтезатор, который применяет результаты одной науки к другой<sup>55</sup>.

Таким образом, в средние века реабилитация практической работы как формы служения Богу привела к тому, что в одном ряду с так называемыми свободными искусствами и науками равное положение заняла научная (пока лишь в интенции) и ремесленная техника, которая стала рассматриваться как существенная составная часть человеческой деятельности, что соответствовало высокому статусу ремесленного производства в средневековой городской культуре.

---

<sup>54</sup> Smith D.E. The Place of Roger Bacon in the History of Mathematics. In: Roger Bacon. Essays. Collected and Edited by A. Little. N.Y.: Russel & Russel, 1972, p. 176.

<sup>55</sup> Easton S. C. Roger Bacon and his Search for a Universal Science. Westport, Connecticut: Greenwood Press Publishers, 1970, p. 183–184.

Да и весь мир стал часто представляться «огромной, охватывающей весь мир фабрикой», а сам человек в этом созданном Господом строении, — венцом творения и в то же время как «преобразующее и созидующее существо», «сотворец наряду с Богом и Природой»<sup>56</sup>. Без этого чувства созидания нового, сформировавшегося в интеллектуальной среде XII в., невозможны были бы Возрождение<sup>57</sup> и развитие современной проектной культуры вообще.

## **2. Институализация науки и техники; средневековые университеты, академии наук как сообщества экспериментаторов; высшие технические школы**

Университеты были созданы в Европе на основе духовных школ в XII—XIII вв. В современном понимании университет означает универсальное образование, в первую очередь естественнонаучное и гуманитарное. Однако во многих странах сегодня существуют так называемые технические университеты, возникшие из высших технических школ. Строго говоря, они также должны давать широкое естественнонаучное и гуманитарное образование и кроме технических факультетов содержат естественнонаучные факультеты и факультеты социальных наук. В средние века университетом первоначально называли любой организованный союз людей, любую корпорацию. Они возникали почти одновременно с цехами ремесленников и по их образцу. Первый известный случай возникновения городской ремесленной корпорации — парижского цеха свечников — относится к 1061 г. Корпорации преследовали те же цели, что и цехи ремесленников, — обеспечение прав производителей (в данном случае производителей знаний), поэтому и были близки по своей структуре ремесленной цеховой организации.

В цеховых статутах строго регламентировались тип и качество используемого материала, качество и характер орудий производства, количество и качество выпускаемых изделий, одежда и даже поведение его членов. Условия вступления в цех были тоже строго регламентированы. Во-первых, надо было сделать определенный денежный взнос. Во-вторых, срок ученичества был довольно долгим (в некоторых ремеслах, например ювелирном деле, он доходил до 10 лет), В-третьих, ремесленник должен был уметь изготавливать не только соответствующий продукт, но и свои инструменты и поддерживать их в рабочем состоянии (для члена ученого цеха такими инструментами были перо и чернила). В-четвертых, чтобы стать мастером, необходимо было пройти сложное теоретическое и практическое испытание —

---

<sup>56</sup> *Le Goff J. Die Intellektuellen im Mittelalter. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1994, S. 64* (имеется перевод на русский язык: Ле Гофф Ж. Интеллектуалы в средние века. Долгопрудный: Аллепро-Пресс, 1997).

<sup>57</sup> Там же, S. 17.

сдать экзамен и изготовить образцовый товар. Для представителя ученого производства таким товаром был научный трактат, а профессиональная деятельность включала в себя изучение и обучение в сфере свободных искусств. «Искусство — это любая разумная и правильная духовная деятельность, направленная на изготовление материальных или интеллектуальных орудий; оно является духовной техникой делания»<sup>58</sup>. Сама же школа представлялась в виде мастерской, которая вместо товаров изготавливает идеи, а профессор, магистр — в виде мастера этого цеха, использующего в качестве орудия труда книги (а также перо, бумагу, чернила, линейку, письменный стол, кафедру, черную доску с мелом и т. п., которые точно так же должны содержаться в порядке, как и любые другие ремесленные орудия) и занимающего сравнимое социальное положение в средневековом городском обществе наряду с другими горожанами, будь то ремесленник или купец. В этом смысле весьма показательна характеристика социальной стратификации Парижа, данная в конце XII в. доминиканцем Томасом Ирландским: «Город Париж подобно Афинам разделен на три части: во-первых, купцы, ремесленники и обыкновенный народ, так называемый большой город; во-вторых, дворянство, группирующееся вокруг королевского двора, и кафедральный собор, так называемый сити; в-третьих, студенты и коллегии, так называемый университет»<sup>59</sup>.

К концу эпохи средневековья возникает множество разнообразных ремесленных цехов, занимающихся определенными видами производства, и даже с разделением труда. Одним из таких «цехов» и стал средневековый университет, возникший в крупных городах Западной Европы первоначально как церковная корпорация, но в отличие от других городских корпораций имеющая интернациональный характер и ориентированная не на «местный рынок», а на всю сферу политического и идеологического влияния христианства. «Ученое производство или ремесло облеклось в такие же регулируемые формы, как и любое другое ремесленное производство: общее собрание членов под председательством известного главы, известная дисциплина и известная последовательность традиций в среде членов. Градации школяров, бакалавров и магистров соответствовали цеховым градациям учеников, подмастерьев и мастеров»<sup>60</sup>. И процесс обучения в чем-то был аналогичен: ученик (школяр), желающий обучаться мастерству, поступал на обучение к мастеру и после двухлетнего ученичества, выдержав испытание, становился бакалавром, т. е. вассалом низшего ранга, что соответствовало званию каноника низшего ранга в церковной иерархии или подмастерья в ремесленных цехах. Итак, в средневековом университете бакалавр был подмастерьем «ученого цеха». Продолжая учиться, он уже начинал преподавать. Еще через два года учебы назначалось новое испытание, дающее возможность стать мастером

<sup>58</sup> Le Goff J. Указ. соч., S. 68.

<sup>59</sup> Там же, S. 81.

<sup>60</sup> Суворов О. Средневековые университеты. М., 1898.

науки — доктором или магистром — и самостоятельно обучать, получив соответствующую лицензию. Вместе с лицензией вручались знаки докторского достоинства — книга, золотой перстень и берет — знаменитая до сегодняшнего дня четырехугольная «академическая» шапочка (форма одежды в средние века являлась символом принадлежности к той или иной социальной группе). Первоначально магистр, например, рассматривался лишь как мастер-ремесленник, руководитель мастерской, позже звание магистра становится почетным. Титул доктора стал приравняться к титулу рыцаря, а науку начали сравнивать с рыцарством.

Ранги магистра и доктора открывали путь к высшим государственным должностям. Эти ученые градации характерны и для современных университетов, как и многие традиции, уходящие корнями в далекое прошлое. Например, ритуал защиты диссертации состоял в том, что за две недели до защиты всем докторам вручались тезисы, которые защищал докторант на специальном диспуте-испытании. После этого проводился дружеский ужин, требовавший больших расходов. В одном из цеховых статутів записано: «Желающий занять положение самостоятельного мастера в нашем цехе обязан дать цеху 2 бочки пива, марку на жаркое, 8 шиллингов панцирного взноса, стовек (4 бутылки — В.Г.) вина старшинам и четыре шиллинга на покупку свеч ...»<sup>61</sup> Студентами тогда считались все, кто посвящает себя занятиям наукой. Ректор — глава университета — выбирался ежегодно из среды школяров, носил оружие и мог штрафовать за несоблюдение университетских правил не только школяров, но и докторов, лишая их права чтения лекций.

В то же время университеты имели большую самостоятельность и больше привилегий, чем ремесленные цеха, часто находясь под покровительством императоров и королей, а не городских властей. Зачастую коллегия докторов была частью городского устройства, что создавало дополнительные противоречия между учениками и учителями. В университетах учились представители различных национальностей, стран и социальных слоев. Это создавало определенную степень свободы и социальную мобильность в жестко стратифицированном средневековом обществе, но и затрудняло определение социального статуса члена университета и его отношения с другими социальными группами<sup>62</sup>. Это хорошо видно на примере великого средневекового философа Пьера Абеляра (1074—1142).

<sup>61</sup> Социальная история средневековья. Т. 2. Позднее средневековье. М.-Л.: Государственное издательство, 1927, с. 393.

<sup>62</sup> Следует, однако, иметь в виду, что университеты не были однородны по составу, структуре, положению в обществе и т. п. Кроме того, они эволюционировали с самого момента возникновения. Создаваемые как корпорации по цеховому образцу, они со временем стали центрами высшего образования. В одних университетах, подобно болонскому, в коллегии докторов, являвшейся прежде всего финансовой организацией, преобладали студенты, а в парижском, наоборот, — преподаватели. Различались университеты и по научному профилю — со временем формируется их профессиональная специализация, что зависело от различных факторов и означало приоритетность одного из факультетов. Не всегда был ясен

*Пьер Абеляр* родился в Ле-Пале близ Нанта в рыцарской семье и получил соответствующее своему социальному положению интеллектуальное и военное образование. Однако, связав свою жизнь с учебной и работой в университете, он вынужден был отказаться от образа жизни, определенного его социальным положением. В то же время его социальное происхождение и военное образование наложили отпечаток на его мышление: он сравнивает диалектику с арсеналом, аргументы — с оружием, а интеллектуальные диспуты — с боевыми рыцарскими турнирами. Абеляр дистанцируется от рыцарства, чтобы более точно определить свою новую социальную позицию и отграничить ее от других позиций общественных групп. Например, живя в монастыре, он сетует на несоответствие стиля жизни монаха стилю жизни исследователя и преподавателя, сравнивает себя с растением, пересаженным в чужеродную почву, и отвергает ручную работу, пропагандировавшуюся в монастырях.

Формирующееся сообщество преподавателей и студентов начинает постепенно осознавать себя как новая профессиональная группа, оторванная от своих социальных корней, в том числе и пространственно — за счет переселения в город, где расположен университет, посвятившая свою жизнь служению науке и предполагающая особую добродетель — стремление к познанию истины, как высшую человеческую цель<sup>63</sup>.

В университетах обычно было три высших факультета — теологический, юридический и медицинский — и один низший факультет — артистический (философский), студенты которого изучали семь свободных искусств: грамматику, диалектику и риторику (составляющие тривиум) и арифметику, геометрию, астрономию и музыку (составляющие квадравиум). Высшие факультеты, членами которых считались только доктора и магистры, возглавляли деканы, избиравшиеся из

---

и статус членов университета, которые, не будучи ни настоящими клириками, ни настоящими мирянами, были представителями различных профессий, специалистами и носителями привилегий. Да и их экономическое положение было неравным: одни жили на зарплату, другие имели собственные денежные источники, третьи комбинировали оба эти принципа. Количественное соотношение этих экономических групп в каждом университете было различным и также определяло его социальный статус. Следует также добавить наличие различных национальностей, количество представителей которых различалось в разных университетах, так же как их поддержка со стороны сильных мира сего. Все это создавало довольно сложную структуру взаимоотношений между университетом, государством, городским управлением и местным населением. Немаловажную роль играла в этих взаимоотношениях и христианская церковь (реформация лишь усложнила эти взаимоотношения). Следует учитывать также эволюцию университетов и их внешних связей. Однако с развитием университетского образования, ростом его престижа в обществе, увеличением привилегий университеты начинают играть важную положительную экономическую роль в городах, о чем свидетельствует желание многих городов открыть у себя новые университеты (Le Goff J. Für ein anderes Mittelalter. Zeit, Arbeit und Kultur im Europa des 5.–15. Jahrhunderts. Frankfurt a. Main: Ullstein, 1984, S. 97–115).

<sup>63</sup> Le Goff J. Für ein anderes Mittelalter. Zeit, Arbeit und Kultur im Europa des 5.–15. Jahrhunderts. Frankfurt a. Main: Ullstein, 1984, S. 78–89.

числа преподавателей на год. Лекции были ординарными, читавшимися докторами в утренние часы, и экстраординарными — во время этих лекций можно было задавать вопросы, отвечать на которые мог не только лектор, но и учащиеся. Были предусмотрены и практические занятия — репетиции и диспуты, имевшие целью развить у школяра умение защитить «приобретенное им сокровище».

Французский историк Ле Гофф подробно рассматривает организацию университетской корпорации на примере Парижского университета. Его административная и профессиональная организационная структура была сформирована в XIII в. и включала в себя четыре факультета: свободных искусств, канонического или церковного права, медицинский и теологический. Последние три высших факультета управлялись титулованными магистрами (регентами) с деканами во главе. Самый большой факультет свободных искусств (или артистический) был разделен на четыре нации — французскую, пикардийскую, норманнскую и английскую, — каждая из которых подчинялась выбираемому регентами прокуратору. Главой этого факультета был ректор, распоряжавшийся университетскими финансами и возглавлявший общее собрание университета. К концу XIII в. ректор становится признанным главой всей университетской корпорации. (В Оксфордском университете кроме ректора избирался еще и канцлер. В Болонском университете профессора не принадлежали к университетской корпорации, которую образовывали лишь студенты; магистры же составляли коллегию докторов. В сущности каждый факультет этого университета представлял собой отдельную корпорацию.) «Власть университетской корпорации имела три существенные привилегии: судебную автономию — в рамках церкви, с некоторыми местными ограничениями и с правом апелляции у римского папы; право на забастовки и отделение; монополию на выдачу университетского титула»<sup>64</sup>.

Преподавание велось на латинском языке, который был в то время международным языком науки. Обучение на артистическом факультете занимало 6 лет, возраст абитуриентов составлял от 14 до 20 лет. Обучение было двухступенчатым: через два года присуждалась степень бакалавра и лишь после завершения второй ступени — доктора. Медицина и право изучались студентами (в возрасте от 20 до 25 лет) в течение 5 лет, а изучению теологии посвящалось в целом 15–16 лет. Порядок сдачи экзаменов и выдачи титулов также был строго регламентирован. Студенты должны были конспектировать лекции. Тексты лекций публиковались, причем весьма быстро, чтобы помочь студентам подготовиться к экзаменам. Копированием лекций занимались не только профессиональные переписчики, но и студенты, зарабатывающие таким образом деньги на жизнь. Некоторые студенты получали стипендии. Важной формой занятий были диспуты — как правило, под руководством магистра. На время диспута лекции отменялись.

Таким образом, университеты постепенно присвоили себе монополию образования, прежде всего присуждения ученой степени. Однако в Новое время уровень преподавания в университетах перестал отвечать запросам тогдашней научной практики. В университетах, конечно, стремились расширять сферу преподавания, уделяя внимание естественным наукам и математике, однако упор делался на получение

<sup>64</sup> *Le Goff J.* Указ. соч., S. 83.

классического образования — изучение классических языков и канонических текстов, приобретение так называемого книжного знания, что заставило, например, Галилео Галилея заниматься математикой за пределами университета. Познания в области математики хотели получить многие, поэтому возникла новая свободная профессия учителя математики, который мог быть и землемером, и строителем фортификационных сооружений, и изобретателем новых инструментов, и чертежником и т. п.

Стремление к опыту получило практическую основу в Новое время, когда начали создаваться социальные структуры — научные общества и академии наук, объединявшие ученых для совместного проведения и финансирования научных экспериментов и пользующиеся покровительством влиятельных лиц. Таковыми были, например, возникшая в 1560 г. в Неаполе Академия тайн природы, Академия Линчеи, членом которой был Галилео Галилей, учрежденная в 1603 г. Академия дель Чименто, основанная во Флоренции в 1657 г., Лондонское королевское общество (1660 г.), Парижская Академия наук (1666 г.), Научное общество в Берлине (1700 г.), Петербургская Академия наук (1724 г.).

Лондонское королевское общество образовалось, например, из небольшого кружка ученых, еженедельно обсуждавших самые различные темы — в основном естественнонаучные, а также экспериментальный метод в естествознании. 28 ноября 1660 г. на очередном заседании кружка 12 наиболее активных его членов решили «обсудить вопрос об возможности организации специального колледжа для проведения физико-математических экспериментов. Они решили установить порядок заседаний, сделать их более регулярными, избрав в качестве образца итальянские академии. Количество членов колледжа вначале составило 55, однако уже в марте следующего года достигло 73. В 1662 г. общество получило первую хартию, в которой было названо Королевским обществом, в следующем году была подписана вторая хартия, устанавливающая герб Королевского общества с девизом *Nullius in Verba* (лат.) — «Ничего словами». Интересы университетов, продолжавших заниматься классическими науками, и академий, где большее внимание уделялось практическим применениям научных достижений, сильно различались. Лондонское королевское общество было обвинено даже «в распространении революционных идей, а также в намерении уничтожить университеты»<sup>65</sup>.

В основном академии преследовали не учебные, а исследовательские цели, обеспечивали условия экспериментальной работы, которых не предоставляли университеты, но первоначально сильно склонялись к практике. «Просматривая выборочно протоколы Королевского общества, можно заметить, что на долю теоретических вопросов, относящихся ко всем областям естествознания и математики, в первые годы существования общества приходится почти столько же сообщений, сколько их падает на долю прикладных и вообще практических тем»<sup>66</sup>. Некоторые академии, получив финансовую поддержку

<sup>65</sup> Боголюбов А.Н. Роберт Гук. М.: Наука, 1984, с. 37, 39–41, 48.

<sup>66</sup> Райнов Т.И. Роберт Гук и его трактат об экспериментальном методе. В кн.: Научное наследие. М.-Л.: Наука, 1948, с. 666.



от правительств, со временем преобразовались в официальные научные учреждения.

Академии начали издавать печатные труды, в частности отчеты об изобретениях. Многие сотрудники академий занимались практической деятельностью. Однако уже в XVIII в. интерес к вопросам техники заметно уменьшился, так как возникли новые формы организации научной деятельности в области техники — прежде всего инженерные общества и высшие технические школы, а академии наук сконцентрировались на фундаментальных научных проблемах (впрочем, в XX в. положение снова изменилось — прикладные практические результаты стали требоваться и от академических исследований).

Технические школы, предназначенные для подготовки инженеров по разным специальностям, почти одновременно возникают во Франции, Германии и России. Появляются и первые учебники для этих школ. Однако преподавание научных дисциплин в них было еще весьма элементарным. «Попытки ввести техническое образование предпринимались еще в XVII в.: отдельные школы, готовившие техников, были во Флоренции, в Дании и во Франции. Однако лишь в XVIII столетии основываются технические школы для подготовки инженеров: военных, морских путейских, т. е. по специальностям, которые обеспечивали «государственную» службу»<sup>67</sup>. Это были, конечно, еще не высшие, а средние технические учебные заведения: «было бы неправильным в какой-то степени сравнивать эти школы с современными высшими техническими заведениями. Инженерам приходилось вести работы, пользуясь несложными тихоходными машинами, расчет которых сводился к условиям статического равновесия между движущей силой и сопротивлением; понятия о коэффициенте полезного действия не было, да оно и не требовалось. Поэтому математическая подготовка инженера была элементарной. Обучение в высших технических школах, в том числе и французских, состояло в изучении некоторых практических правил, элементарной математики и описательных сведений, относящихся к архитектуре, гидравлике, фортификации и т. д.»<sup>68</sup>.

В 1720 г. во Франции был открыт ряд военно-инженерных учебных заведений для подготовки специалистов по фортификации и артиллерии, а также Корпус инженеров путей сообщения, в 1747 г. — Школа мостов и дорог. Получила известность основанная в 1748 г. Мезьерская военно-инженерная школа, которую закончил Гаспар Монж, впоследствии оказавший огромное влияние на развитие высшего технического образования. Отделение кондукторов, на котором он учился, готовило мастеров и производителей работ. Ученики этого отделения изучали элементы алгебры и геометрии, черчение, изготавливали модели различных систем сводов, необходимые для создания прочных фортификационных сооружений. Позже ученый и инженер

---

<sup>67</sup> Боголюбов А. Н. Гаспар Монж. М.: Наука, 1978, с. 172.

<sup>68</sup> Там же, с. 173–174.

Г. Монж, создатель начертательной геометрии, профессор, преподавал в этой школе математику, механику и физику.

В Германии инженерные школы возникли несколько позже: в Берлине в 1799 г. основана Строительная академия, в 1821 г. — Ремесленный институт; политехнические школы появляются одна за другой в Карлсруэ, Мюнхене, Дрездене, Ганновере и Штутгарте. В 1815 г. был основан Политехнический институт в Вене. Открытие военно-инженерных учебных заведений значительно способствовало развитию промышленности, подготовке кадров новых высококвалифицированных и научно образованных инженерных кадров, что позволило Германии к концу XIX в. стать одной из наиболее развитых в промышленном отношении стран.

Английские инженеры в то время не интересовались теоретическими проблемами и игнорировали занятия математикой. В Англии в течение первых двух десятилетий XIX в. еще не было специальных технических учебных заведений, и хотя в течение долгого времени Англия считалась самой передовой в промышленном отношении страной, отставание в области высшего технического образования обусловило в конечном счете отставание ее и в практической сфере: если в 1851 г. на 1-й Всемирной выставке английская промышленность получила большинство медалей, то на Парижской выставке 1867 г. она с трудом завоевала немногим более десяти медалей<sup>69</sup>. Германия опередила Англию вследствие высокой научной подготовки немецких инженеров. Лишь в 1841 г. в Лондонском университетском колледже были организованы три технические кафедры: гражданского строительства, механики и машиностроения. (В США первое техническое учебное заведение — Вест-Пойнтская военная академия — была основана в 1802 г., Бруклинский политехнический институт был открыт в 1854 г., а Массачусеттский технологический институт — в 1861 г.).

Первой высшей технической школой, ориентированной на высокую научно-теоретическую подготовку студентов, стала Парижская политехническая школа, основанная в 1794 г. Г. Монжем. Здесь впервые будущим инженерам начали систематически преподавать математику и теоретические основы естествознания. Первыми учениками этой школы были ставшие впоследствии известными учеными Пуансо, Био, Пуассон, Коши, Навье, Гей-Люссак. Парижская политехническая школа «стала центром развития математики и математического естествознания, заменив в этом отношении университеты. Она сумела сохранить ведущее место едва ли не до нашего времени, во всяком случае все крупные математики Франции XIX в. или окончили Политехническую школу, или принадлежали к корпорации ее преподавателей. В этом — большая заслуга Монжа, который основал школу на строгом фундаменте теории, и притом самой современной». Это тем более показательно и демонстрирует обратное плодотворное воздейст-

---

<sup>69</sup> Боголюбов А. Н. Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М.: Наука, 1976, с. 183.

вие техники на развитие фундаментальной науки, что по «идее Монжа, Политехническая школа должна была готовить не профессоров математики, а инженеров различных специальностей, которые имели бы солидную научную и практическую подготовку»<sup>70</sup>.

Парижская политехническая школа скоро стала центром развития математики и математического естествознания, а затем и прикладной механики, а также образцом для создания подобных высших технических школ в других странах — Германии, Испании, Швеции, США. Эти высшие учебные заведения постепенно зарекомендовали себя и как центры проведения научных исследований в области технических наук. В России по образцу Парижской политехнической школы в 1809 г. был создан Институт корпуса инженеров путей сообщения, инициатором и начальником которого был ученик Г. Монжа, бывший профессор Парижской политехнической школы испанец А.А. Бетанкур. В 20–30-х гг. XIX в. Институт становится ведущим научным центром в области строительного искусства и науки.

К концу XIX в. научная подготовка инженеров, их специальное — именно *высшее* — техническое образование становится настоятельной необходимостью. Часто высшие школы научной подготовки инженеров образовывались на базе ремесленных учебных заведений — например, Императорское Московское высшее техническое училище было создано в 1868 г. вместо Ремесленного учебного заведения при Московском воспитательном доме с целью дать учащимся образование по механической и химической специальностям.

В своем выступлении в 1871 г. математик А.В. Летников, один из реформаторов этого училища, подчеркнул: «Нельзя трактовать политехническую школу, как училище чисто практическое, имеющее в виду только удовлетворять непосредственным целям мелкой и крупной промышленности, но лишенное научного характера изучение прикладных предметов может принести пользу только при высоком теоретическом развитии ... сила действительного практического знания прямо пропорциональна высоте научных сведений, высоте теоретического образования»<sup>71</sup>.

Появляются и такие области инженерной деятельности, которые немислимы без глубоких научных исследований. Да и от самих научных исследований общество начинает все более настоятельно требовать прикладных технических результатов. Возникла даже идея организации при физико-математических отделениях университетов технических отделений. Однако цели университетского и инженерного образования в то время резко различались: университеты должны были готовить ученых, преподавание же в технических школах носило иной, более практический характер. В то же время важность теоретических исследований для инженерной практики подчеркивали многие ученые и инженеры конца XIX в. «Научные познания всегда выведут инженера из затруднения при каждом новом представившемся вопросе и помогут

---

<sup>70</sup> Боголюбов А. Н. История механики машин. Киев.: Наукова Думка, 1964, с. 121, 244.

<sup>71</sup> Глекин Г. В. Николай Николаевич Андреев. М.: Наука, 1980, с. 16–17.

ему быстро освоиться при введении усовершенствования или нового производства. Практики, всю жизнь свою проведшие на каком-нибудь одном деле и знающие его до тонкости, становятся в тупик перед любым новым вопросом и оказываются бессильными по сравнению с молодым инженером, вооруженным научными сведениями»<sup>72</sup>. Кроме того, творения инженера не должны противоречить законам природы, знание которых дает наука. Но «отвлеченный закон науки только тогда может приносить свою пользу в приложениях, — писал известный русский ученый И.А. Вышнеградский, действительный член Петербургской Академии наук, — когда разобраны все условия, в которых он может быть применен, когда надлежащим образом произведена оценка всех обстоятельств, могущих иметь влияние на явление, могущих в большей или меньшей степени видоизменять его»<sup>73</sup>. Но для этого нужны несколько иные научные исследования, которые проводятся в интересах техники, оставаясь в то же время теоретическими, и иные науки — технические, появившиеся именно в конце XIX — начале XX в. Именно такого рода науки и исследования начинают развиваться в высших технических школах, которые постепенно становятся центрами не только научного образования инженеров, но и научного исследования в различных областях техники.

### 3. Выработка новой философии науки и техники в эпоху Ренессанса и Нового времени

Именно в эпоху Возрождения создается новая общественная среда, до известной степени преодолевается разрыв между кабинетной ученостью и отстраненной от науки практикой. «В конце средневековья на арену общественно-экономической жизни выходит хозяйственный субъект, который занимается коммерческими расчетами, спекулирует, который посвящает значительную часть своей хозяйственной деятельности организации и руководству делами, который расширил круг своих предпринимательских интересов за пределы индивидуального процесса труда, в чьем сознании представление о целесообразной форме ведения дела отделилось от самого процесса преобразования материала в продукт. Этот хозяйственный субъект представляет собой качественно новую фигуру, по сути не имеющую ничего общего с ремесленником, хотя с внешней стороны он часто являлся тождественным с крупным ремесленником: по размерам производства, числу занятых лиц и т. п.»<sup>74</sup>. В науку приходят ремесленники, художники, инженеры, а образованные люди все более начинают интересоваться практическими вещами. Появляются инженеры-

---

<sup>72</sup> Чеканов А.А. Виктор Львович Кирпичев. М.: Наука 1982, с. 123.

<sup>73</sup> Уварова У.И. Исторический аспект разработки технических средств // Вопросы истории естествознания и техники, 1982, № 2, с. 68.

<sup>74</sup> Сидоренко В.Ф. Генезис проектной культуры // Вопросы философии, 1984, № 10.

самоучки, которые на первых порах в силу отсутствия инженерного образования устанавливают водяные и ветряные мельницы, насосы, фонтаны, чинят механизмы и руководят созданием этих механизмов. Эти люди обычно знали арифметику и отчасти механику, умели чертить проекты и проводить элементарные вычисления. Однако постепенно они не только значительно расширили спектр своих познаний, став энциклопедически развитыми учеными (или, по крайней мере, претендующими на это), но и заняли важное место в обществе, часто выполняя функции учителей, собирая вокруг себя учеников и даже организуя целые научно-художественно-ремесленные школы.

Первые инженеры формируются из среды ученых, обратившихся к технике, или ремесленников-самоучек, приобщившихся к науке. Появляется фигура «инженера, техника-специалиста, одним из основных, а позднее и единственным занятием которого является выполнение различных гражданских и военных технических сооружений». В последние десятилетия Римской империи тоже были руководители крупных технических работ и теоретики техники, но оба эти занятия ... были резко отделены друг от друга. Техник либо оставался старшим рабочим, либо только администратором, которому теория была не нужна; теоретик же был по большей части философствующим дилетантом»<sup>75</sup>. Как уже упоминалось, чтобы обеспечить распространение своего нововведения, средневековые изобретатели часто скрывали свое авторство или приписывали его какому-либо авторитету. Не случайно Полидор Вергилий в своей книге «Об изобретателях всех вещей», вышедшей в 1499 г. в Венеции, сетует, что невозможно отыскать авторов многих изобретений, в том числе артиллерийских орудий, мельниц, механических часов с боем и др.

«Во-первых, в средневековье новое обычно оценивалось отрицательно и иные мыслители выдавали свои собственные оригинальные мысли за чужие и уже известные.

Во-вторых, применение новой техники разрушало традиционную структуру ремесла, его принудительное равенство, в частности в объеме выпуска продукции

В-третьих, в сознании людей средневековья рациональное обоснование соседствовало с мистическим страхом. В 1260 г. во Франции было написано сочинение о магнитной игле. В нем утверждалось: «Ни один капитан не должен употреблять этого инструмента, если он не хочет подвергнуться подозрению в колдовстве. Нет сомнения также, что ни один моряк не решится идти в море под командой такого капитана, который возьмет с собой вещь, сильно свидетельствующую о том, что она изготовлена с помощью адского духа»

В-четвертых, можно высказать предположение, что неясность изобретательства объясняется особенностями личности средневекового ремесленника. Мы не считаем, что в средние века не было изобретений как таковых. Дело в том, что, стремясь улучшить

---

<sup>75</sup> *Гуковский М.А. Механика Леонардо да Винчи. М.-Л.: АН СССР, 1947, с. 231.*

сделанное им, эмпирически нащупывая лучший, более удобный путь к созданию своего изделия, ремесленник не осознавал, что творит новое и даже старался не осознавать, ибо вся социально-культурная обстановка препятствовала этому»<sup>76</sup>. В эпоху Возрождения отношение к нововведениям меняется, многие известные еще в древности изобретения открываются вновь, но на этот раз новые авторы не скрывают своих имен. «На смену средневековой анонимности мастера приходит новое ренессансное сознание художника как творческой личности»<sup>77</sup>.

В эпоху Возрождения формируется новое отношение к ученому, инженеру, художнику, который теперь воспринимается как творец, подражающий творчеству божественного создателя самого бытия, природы («машину мироздания можно назвать великой и благородной живописью, рукою господина и природы нарисованной») и равный в искусстве самому Богу, поскольку ум «истинного художника может породить идею совершенного творения, а руки его в силах воплотить сию идею»<sup>78</sup>.

Быстрое развитие государственности и торговли стимулировало совершенствование военного дела, необходимого для защиты многочисленных небольших государств — прежде всего строительства гидротехнических и архитектурных сооружений, а также артиллерии и фортификации, совершенствование которых было жизненно необходимо для городов-республик Италии, поскольку от точности попадания в цель, дальности орудий и прочности крепостей часто в буквальном смысле зависела их самостоятельность. Однако с развитием богатства этих государств возрастали и потребности в комфортабельных и красивых архитектурных сооружениях, различных машинах, большинство из которых выполняло бы функцию увеселительных механизмов и автоматов.

Новые специалисты, выполнявшие функции ученых-инженеров-консультантов, нужны были повсеместно и высоко ценились королями, герцогами, горожанами. А для осуществления этих функций простых ремесленных навыков было уже недостаточно. Поэтому, решая технические задачи, первые инженеры и изобретатели черпали знания и методы проведения расчетов из математики и механики. Если же этих знаний не хватало, они стремились получать их самостоятельно, становясь зачастую весьма продуктивными учеными. Один из таких инженеров-самоучек, Никколо Тарталья, который был свободным консультантом техников по вопросам математики, опубликовал книгу «Новая наука», в которой следующим образом объясняет необходимость этой новой науки: чтобы «каждый христианин был лучше

---

<sup>76</sup> Харитонович Д. Э. Ремесло в системе народной культуры западноевропейского средневековья (X–XIII века): Диссертация на соискание ученой степени кандидата исторических наук. М.: Московский областной педагогический институт, 1983, с. 53.

<sup>77</sup> Эстетика ренессанса. Т. I. М.: Искусство, 1981, с. 539.

<sup>78</sup> Там же, с. 397, 454.

вооружен как для нападения, так и для защиты»<sup>79</sup>. Знание осознается тогдашним обществом как вполне реальная сила.

Итак, традиционную цеховую ремесленную деятельность постепенно сменяет инженерная деятельность, основанная на науке. «Вместо анонимных ремесленников все в большем количестве появляются техники-профессионалы, крупные технические индивидуальности, знаменитые далеко за пределами непосредственного места своей деятельности. Но быстрое и принципиально новое развитие техники требует и коренного изменения ее структуры. Техника доходит до состояния, в котором дальнейшее продвижение ее оказывается невозможным без насыщения ее наукой. Повсеместно начинается ощущаться потребность в создании новой технической теории, в кодификации технических знаний и подведении под них некоего общего технического базиса. Техника требует привлечения науки»<sup>80</sup>. Природа начинает рассматриваться как объект практической деятельности, подчиняющейся законам природы. Например, Альберти подчеркивает, что «отцом каждого искусства или техники был случай и познание; учителем их была практика и опыт; растут же они благодаря знанию и рассуждению»<sup>81</sup>. В этой новой общественной среде и появляется стремление преодолеть разрыв между кабинетной ученостью и практикой.

Одним из самых ярких примеров является творчество Леонардо да Винчи, который был не только великим живописцем, но и математиком, механиком и инженером.

В письме миланскому герцогу Лодовико Моро Леонардо да Винчи в первую очередь подчеркивает свои инженерные познания: «Так как я, светлейший государь, уже достаточно видел и изучал произведения тех, которые считают себя мастерами и изобретателями орудий, и убедился, что замысел и действие этих орудий ничем не отличаются от обычных, применяемых всеми, я хотел бы, чтобы без ущерба для кого бы то ни было Ваша светлость выслушала меня, причем я открою ей свои секреты и предлагаю на ее усмотрение в удобное время оправдать на опыте все то, что частично и вкратце ниже изложено:

1. Я знаю способ делать чрезвычайно легкие, выносливые, прочные и легко переносимые мосты, пригодные для преследования врагов и для бегства от них, и другие безопасные и предохраненные от огня и боя, легко поднимаемые и опускаемые; знаю также способы сжигать и разрушать мосты противника.

2. Я знаю способ, как во время осады какого-нибудь места спустить воду из рвов и как сделать множество мостов, кошек и лестниц, и других приспособлений, нужных в таких предприятиях.

3. Также, если благодаря высоте стен, или укреплённости моста, или его положения при осаде его невозможно будет пользоваться бомбардами, я знаю способ разрушить всякую цитадель или другого рода крепость, если только она не построена на скале, и т. п.

---

<sup>79</sup> Гутов Р. С., Полунов Э. Л. Джон Непер. М.: Наука, 1980, с. 70–71.

<sup>80</sup> Гуковский М. А. Указ. соч., с. 303.

<sup>81</sup> Альберти Л. П. Десять книг о зодчестве. М.: Изд-во Всесоюзной академии архитектуры, 1935, т. 1, с. 49.

4. Кроме того, я знаю системы удобнейших и легких в перевозке бомбард, умею метать ими камни наподобие бури и их дымом нагонять великий ужас на врага с большим для него уроном и смятением и т. п.

5. Также я знаю способ подкапывать тайные изогнутые ходы без всякого шума ... даже если бы пришлось под рвами или какой-нибудь рекой.

6. Также я могу сделать закрытые и совершенно неуязвимые повозки, которые со своей артиллерией, ворвавшись в ряды врагов, вызовут поражение силы любой величины. И за ними может следовать пехота совершенно безопасно и без затруднений.

7. Также, если потребуется я могу сделать бомбарды, мортиры и огнеметы прекрасной и целесообразной формы, не похожие на обычные.

8. Где нельзя будет применять бомбарды, я сконструирую катапульты, манганты, стрелометы и другие орудия удивительного действия и непохожие на обычные. И вообще в соответствии с каждым данным случаем могу сконструировать бесконечное множество разных приспособлений для нападения и (защиты).

9. И если случилось бы быть в море, я знаю множество систем и приспособлений для нападения на суда, которые не будут повреждены выстрелами бомбард любой величины, и пороха, и дыма.

10. В мирное время я надеюсь выдержать сравнение со всяким в архитектуре, в постройке зданий, как общественных, так и частных, и в проведении воды из одного места в другое.

Также я берусь в скульптуре — в мраморе, бронзе или глине, так же как и живописи, выполнить все, что возможно, не хуже всякого, желающего померяться со мной, и т. д. и т. п.<sup>82</sup>

Большую часть своих гонораров Леонардо да Винчи получал именно как гражданский и военный инженер. Сочетая деятельность художника с деятельностью техника-экспериментатора, он уделял много сил и времени созданию увеселительных механизмов, гидротехнических проектов, консультировал и руководил фортификационными работами, экспериментировал с красками. Зачастую он слишком долго работал над своими картинами, поскольку много времени уделял усовершенствованию различных вспомогательных механических приспособлений, раздражая учеников и заказчиков.

Инженерные изобретения и проекты, предлагаемые в письме Леонардо да Винчи, вполне могли быть реализованы. Он сам реализовал многие из них, а другие описал в своих записках. Само существование нереализованных проектов наряду с реализованными — первый признак проектной культуры, характерный для эпохи Возрождения: проектность культуры заключается «в том, что она делает упор на идеальные моменты существования, в том, что духовный план бытия для нее вполне реален. что материальные блага для нее лишь средства, а не цель, что действительность возможности она предпочитает возможной действительности. Для нее наличие нереализованных проектов не менее важно, чем реализованных»<sup>83</sup>. Наброски и эскизы изобретений Леонардо да Винчи проектны по своей сути, о чем свидетельствует

<sup>82</sup> Гуковский М. А. Указ. соч., с. 350–351.

<sup>83</sup> Кантор К. М. Опыт социально-философского объяснения проектных возможностей дизайна // Вопросы философии, 1981, № 11, с. 93–94.



огромная выставка сделанных на основе этих записей и рисунков макетов машин и механизмов, выставленных в Музее истории техники в Милане<sup>84</sup>. Они еще не адресованы конкретному исполнителю, но основаны на тщательном исследовании природы, в частности полета птиц. Изобретение, по Леонардо да Винчи, направлено на создание несуществующих, но возможных по своей природе вещей (в отличие от воображения, направленного на химерические, невозможные и недостижимые вещи). Для него изобретение, как и искусство вообще, включая живопись, — не просто результат фантазии или лишь следование ремесленной традиции, а следствие изучения законов природы. Во фрагменте «О заблуждении тех, кто пользуется практикой без науки» он пишет: «Те, кто влюбляется в практику без науки, подобны кормчим, выходящим в плавание без руля и компаса. Практика всегда должна быть построена на хорошей теории, для которой перспектива — руководитель и вход, и без нее ничто не может быть сделано хорошо в случаях живописи»<sup>85</sup>.

Для художников эпохи Возрождения живопись не была лишь ремесленным искусством, она стала сложной наукой и должна быть поставлена выше всех искусств. Да и сами художники стали одновременно не только инженерами, но и учеными. Поэтому они так горячо ратовали за включение живописи в состав так называемых свободных искусств, куда, в частности, входила и математика (ранее живопись включали в состав механических искусств, или ремесел)<sup>86</sup>.

По мнению Леонардо да Винчи, «живопись распространяется на философию природы», она «состоит из тончайших умозрений», — это наука об изучении природы и ее законов, «образ природы»<sup>87</sup>. Чертеж, рисунок, набросок — основа не только живописи, но и архитектуры и скульптуры, в нем воплощается замысел художника<sup>88</sup>. Признавая приоритет рисунка над словесным описанием, да Винчи пытается описать увиденное и в понятиях. Но это пока еще не строгое научное описание, а лишь передача увиденного явления глазами художника во всей его единичности, картинности, дающей зримо осязаемую картину данного явления: например, «в однокамерных шлюзах Милана» можно видеть различия, которые обнаруживает вода, «успокоясь или двигаясь на поверхности», «какое действие она производит, падая на землю или стоячую воду», «что она делает только придя в движение, как она ведет себя в ровном и неровном канале, и как она

<sup>84</sup> Die Maschinen Leonardo da Vinci. Florence: Becocci editore.

<sup>85</sup> Эстетика ренессанса. Т. I. М.: Искусство, 1981, с. 367.

<sup>86</sup> Учитель Леонардо да Винчи — Вероккио («ремесленник по происхождению, образованию и всей своей творческой физиономии») — усиленно и серьезно занимался математикой и обучал своих учеников. (См.: *Гуковский М.А. Механика Леонардо да Винчи. М.-Л.: АН СССР, 1947, с. 315.*)

<sup>87</sup> Эстетика ренессанса. Т. I. М.: Искусство, 1981, с. 363, 366.

<sup>88</sup> Например, Вазари по этому поводу отмечает: «В уме образуется нечто, будучи затем выражено руками, именуется рисунком», который представляет собой «не что иное как видимое выражение и разъяснение понятия, которое имеется в душе, которое человек вообразил в своем уме и которое создано в идее». (Эстетика ренессанса. Т. I. М.: Искусство, 1981, с. 418–419).

внезапно образует водовороты и вымоины». Ему еще явно не хватает слов для концептуального выражения увиденного, и он применяет целый каскад терминов для описания состояний воды — бассейн (*pelago*), пучина (*gorgo*), река (*fiume*), поток (*torrente*) и т. п., пытаясь дать более или менее точные определения этих понятий. «Бассейном называется то, что имеет форму широкую и глубокую, где воды обладают малым движением. Пучина имеет природу бассейна, за исключением того, что воды в бассейне вытекают без ударов, а в пучине они падают с большой высоты, бурлят и взлетают вверх от непрерывного круговорота воды. Река — то, что находится в самой низкой части долин и течет направленно. Поток течет только при ливнях, он также стекает в низкие места долин и сливается с реками ...» Затем Леонардо да Винчи просто перечисляет слова, по возможности употребимые для описания водной стихии, т. е. фактически гидродинамических процессов: «отскакивание, круговое движение, круговращение, обращение, кружение, отражение, погружение, вздымание, склон, подъем, углубление, исчерпание, удар, разрушение, опускание, стремительность»<sup>89</sup>. Такое ощущение, что он ищет нужные слова для описания водного потока и находит или даже изобретает их, но между этими словами еще нет строгой логической связи, соединяющей их в концептуальную схему науки, делающей их научными понятиями, без чего невозможна никакая научная теория. Словесное описание доставляет ему огромные трудности, и становится понятным его восклицание: «О писатель, какими словами ты будешь описывать полную конфигурацию, которую этот чертеж здесь составляет. Ты это описываешь сбивчиво ...»<sup>90</sup>.

Кроме того, живопись для художников эпохи Возрождения — это не просто наука о природе, но средство выработки правил для действия на основе раскрытых природных закономерностей. «Если бы ты меня спросил: что дают эти твои правила? — пишет Леонардо да Винчи. — На что они нужны? Я тебе отвечу: они обуздывают инженеров и исследователей, не позволяя обещать себе и другим вещи невозможные и прослыть безумцами или обманщиками»<sup>91</sup>. Примерно так же будет рассуждать и Галилей. Однако для художников эпохи Возрождения живопись — это не простое копирование природы, а конструирование совершенного изображения: если такового нет в природе, художник составляет его из различных существующих в природе вещей, например, изображая совершенного человека. Но и для этого нужна наука, нужно исследование строения объектов природы. Именно в этом смысле надо понимать высказывание «искусство должно подражать природе» — не в смысле копирования, а в смысле воссоздания «в искусственных построениях, где существуют свои законы». Живопись, рисунок являются основой всех механических

<sup>89</sup> *Зубов В.П.* Леонардо да Винчи. М.: АН СССР, 1961, с. 98–99.

<sup>90</sup> *Veltmann K.H.* Visualisation and Perspective. In: *Leonardo e l'Eta della Ragione a cura di Eurico Bellone e Paolo Rossi.* Milano: Scienza, 1982, p. 185.

<sup>91</sup> *Зубов В.П.* Указ. соч., с. 135.

искусств: «ведь ни один кузнец или ремесленник не сможет сделать даже ложки без рисунка»<sup>92</sup>. Так и современное инженерное проектирование не обходится без эскиза, чертежа, схемы. Такого рода схематизация составляет основу не только научного эксперимента, но и математизации естествознания.

Таким образом, визуализация объектов природы художниками эпохи Возрождения закладывает основы не только современного инженерного конструирования (работа в плоскости чертежа, схемы составляет основу графической проектной документации), но и геометрического описания природных процессов в науке Нового времени. Действительно, Галилей был хорошо знаком с учением о перспективе итальянских живописцев. Он в течение всей своей жизни дружил с Лодовико Чиголи, выдающимся живописцем того времени, и даже помог ему найти аргументы против тех, кто утверждал, что скульптура выше живописи. Именно геометризация природы (или, иначе, материализация геометрии) и позволила Галилею создать новую науку — математизированное экспериментальное естествознание<sup>93</sup>.

По Леонардо, именно с помощью визуальных образов, а не вербальных описаний можно достичь подлинного знания природных вещей и процессов: «кто хочет продемонстрировать словами фигуру человека во всех аспектах его строения, отбрось прочь эту идею, потому что чем более подробно ты описываешь, тем более ты приводишь в замешательство читателя, и тем более ты будешь его отдалять от знания описываемой вещи»<sup>94</sup>. Поэтому не удивительно, что он чаще всего развивает аргументацию, пользуясь только чертежом и обходясь минимальными словесными пояснениями. У Леонардо отчетливо прослеживается экспериментальный и количественный подход к линейной перспективе, который отсутствовал у его предшественников. Он пытается соотнести три переменные: глаз наблюдателя, картинный план и объект наблюдения. При этом глаз наблюдателя рассматривается как рабочий инструмент — геометрическое измерительное устройство, а для наблюдения важно понять не только,

---

<sup>92</sup> Эстетика ренессанса. Т. I. М.: Искусство, 1981, с. 446, 491. Особенно важным это становится для архитектуры, где рисунки, по свидетельству Вазари, «состоят только из линий, а это для архитектуры во всяком случае начало и конец этого искусства, ибо остальное в виде деревянных моделей, построенных по этим линиям, всего лишь дело каменотесов и строителей» (там же, с. 419). Введение в практику строительства моделей было важным шагом вперед в эпоху Возрождения. Средневековый архитектор строил, руководствуясь грубым эскизом, постепенно проверяя прочность сооружения на самом сооружении, по наитию. Итальянские архитекторы эпохи Возрождения, прежде чем приступить к большой постройке, делали сами или заказывали у подручного столяра масштабную модель сооружения, чаще всего из дерева, иногда из того же материала, что и сама постройка, и вместе с объяснительной запиской представляли ее заказчику еще до начала работ (Гуковский М.А. Механика Леонардо да Винчи. М.-Л.: АН СССР, 1947, с. 228).

<sup>93</sup> Панофский Э. Галилей: наука и искусство. В кн.: У истоков классической науки. М.: Наука, 1968, с. 14.

<sup>94</sup> *Veltmann K.H.* Указ. соч., р. 185.

что наблюдатель видит, но и как он это видит. Например, размер светящегося тела кажется ббльшим или меньшим в зависимости от его яркости, Луна кажется больше около горизонта. Все это, по мнению Леонардо, должно быть рационально исследовано, а на основании такого исследования должны быть разработаны правила и сделаны компенсации<sup>95</sup>. Примерно так же рассуждает и Галилей в «Пробирщике», отводя утверждения своих противников о том, что телескопы искажают видимые изображения. Леонардо отчетливо осознавал, что некоторые свойства, которыми наблюдатель наделяет наблюдаемый объект, являются в действительности следствием влияния глазного механизма:<sup>96</sup> «Прежде всего мы определим природу глаза, — пишет он, — и затем как возникает из глаза мерцание любой звезды, и почему мерцание одной звезды больше, чем другой, и как лучи рождаются от звезд, и как такое мерцание показывает видимое расширение, настолько же большое, как и ширина самой звезды»<sup>97</sup>.

Леонардо да Винчи различает три типа перспективы: линейную, цветовую и связанную с потерей отчетливости<sup>98</sup>. При чем линейная перспектива<sup>99</sup> — это не просто метод регистрации объекта в природном

---

<sup>95</sup> Kemp M. The Crisis of Received Wisdom in Leonardo's Late Thought. In: Leonardo e l'Eta della Ragione a cura di Eurico Bellone e Paolo Rossi. Milano: Scienza, 1982, p. 31–32.

<sup>96</sup> «Леонардо да Винчи предложил и построил модель человеческого глаза. С этой моделью он провел ряд интересных экспериментов. Пытаясь понять, каким образом на сетчатке глаза строится изображение, Леонардо проводит аналогию с камерой-обскурой: «Опыт, показывающий, как предметы посылают свои изображения, или подобия, пересекающиеся в глазу в водянистой влаге. Это станет ясно, когда через маленькое круглое отверстие изображения освещенных предметов проникнут в очень темное помещение; тогда ты уловишь такие изображения на белую бумагу, расположенную внутри указанного помещения неподалеку от этого отверстия, и увидишь все вышеуказанные предметы на этой бумаге с их собственными очертаниями и красками, но будут они меньших размеров и перевернутыми по причине упомянутого пересечения. Такие изображения, если будут исходить от места, освещенного солнцем, покажутся словно нарисованными на этой бумаге, которая должна быть тончайшей и рассматриваться с обратной стороны, а названное отверстие должно быть сделано в маленькой и очень тонкой железной пластинке»... Камера-обскура сыграла важную роль в оптике. С ее помощью стало понятным, что такое действительное оптическое изображение предмета. До открытия камеры-обскуры были известны только изображения на картинах художников и изображения, возникающие в глазу человека. Историческая роль камеры-обскуры состоит в том, что она четко разграничила понятия «свет» и «зрение». (Гуриков В. А. Становление прикладной оптики XV–XIX вв. М.: Наука, 1983, с. 12). Камера-обскура является тем искусственным объектом (артефактом), который используется для объяснения механизма функционирования естественного объекта — глаза.

<sup>97</sup> Kemp M. Указ. соч., p. 32.

<sup>98</sup> «Перспектива делится на три части. Первая из них содержит только очертания тел; вторая говорит об уменьшении [ослаблении] цветов на различных расстояниях; третья — об утере отчетливости тел на разных расстояниях» (Леонардо да Винчи. Избранное. М.: Гос. Изд-во худож. лит-ры, 1952, с. 92).

<sup>99</sup> Линейная перспектива, или проекция, позволяет изображать объемный предмет на плоскости так, чтобы зритель получал от созерцания его рисунка то же впечатление, что и наблюдатель при взгляде на реальный предмет.

мире, а средство схематизации, последовательного перевода трехмерных объектов на различные уровни абстракции от конкретности природного мира до абстракций математики. Рассматривая различные шкалы абстрактности, Леонардо да Винчи рассматривает перспективу как средство визуализации природных объектов, как своеобразный визуальный мост между природными объектами и их геометрическими эквивалентами, служащий для перевода трехмерных изображений реального мира в плоские геометрические фигуры, а также для визуализации невидимых сил природы, например силы ветра или концентрации тяжести (рис. 35).

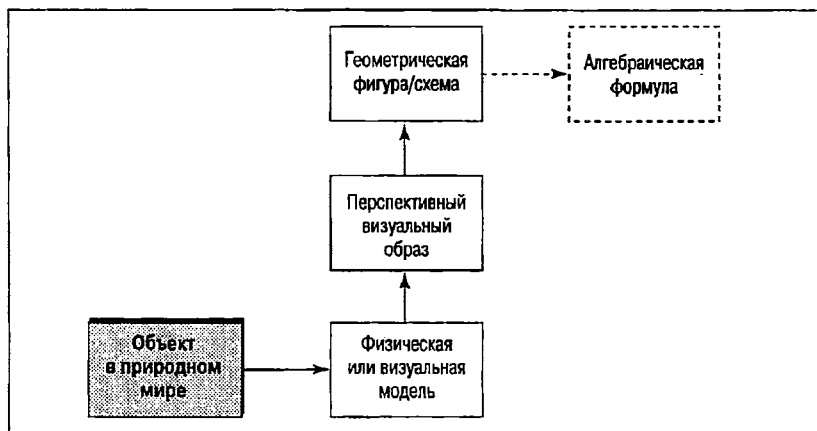


Рис. 35. Схема визуализации природного объекта у Леонардо да Винчи

Как видно из приведенной схемы, природный объект отображается сначала в виде физической или визуальной модели (скульптура, картина, макет и эскиз дома и т. п.), затем эта модель преобразуется в визуальный образ в соответствии с законами перспективы и, наконец, в геометрическую схему или фигуру. И лишь последнее, важное для математизированной науки преобразование геометрической схемы в алгебраическую формулу не рассматривается Леонардо да Винчи вообще<sup>100</sup>. Эту проблему решил в своей аналитической геометрии Декарт.

*Рене Декарт* провел арифметизацию геометрии, поскольку буквенная алгебра позволила применить арифметические операции к геометрическим объектам (фигурам). Употребляемая им символика вполне современна. Была установлена связь между арифметикой и геометрией: «обнаружилось, что поле вещественных чисел изоморфно полю прямолинейных отрезков»<sup>101</sup>. Стало возможным производить сложение, умножение, деление и другие арифметические операции

<sup>100</sup> *Veltmann K.H.* Указ. соч., р. 188–189.

<sup>101</sup> *Матвиевская Г.П.* Рене Декарт. М.: Наука, 1976, с. 160.

над отрезками, а также над геометрическими фигурами. «Аналитическая геометрия Декарта, устанавливающая связь между линиями на плоскости и алгебраическими уравнениями с двумя неизвестными, базировалась прежде всего на идее координат, позволившей сопоставить любой точке кривой точку на числовой оси. Это дало возможность рассматривать всякое алгебраическое уравнение  $f(x, y) = 0$  как определенную линию на плоскости, координаты точек которой удовлетворяют указанному уравнению. Таким образом, был получен метод для исследования геометрических объектов с помощью алгебры»<sup>102</sup>. Но проблему построения визуальных мостов от модельных представлений природного объекта к более абстрактным вариантам вплоть до геометрических фигур Леонардо да Винчи рассматривает весьма подробно.

Он анализирует также проблему перехода от геометрических фигур к природным объектам и формулирует своего рода трансформационную геометрию для использования перспективы в целях выражения геометрических фигур с помощью природных объектов. «Со времени античности математики обсуждали правильные платоновские тела абстрактно. Леонардо берет эти формы и выражает их трехмерно с таким правдоподобием, на которое никто из его современников не был способен». Кеплер позднее использовал эти геометрические тела (правильные многогранники<sup>103</sup>) в своей модели Вселенной (вписав их в орбиты известных тогда пяти планет Солнечной системы). Леонардо использовал и трансформационную геометрию для решения проблемы трансформации прямоугольной формы в цилиндрическую, используя комок глины для физической иллюстрации трансформации одной геометрической фигуры в другую. Такого рода геометрия предполагалась им и для представления трансмутации металлов. «Интерес Леонардо к этим визуальным мостам между природой и геометрией, между абстрактным и конкретным, заслуживает рассмотрения как одно из его наиболее важных достижений»<sup>104</sup>.

Огромную роль в развитии учения о перспективе сыграл крупнейший мастер искусства немецкого Возрождения *Альбрехт Дюрер*<sup>105</sup>, который считал, что «искусство заключено в природе, кто умеет обнаружить его, тот владеет им», а живопись важнее всех других искусств,

---

<sup>102</sup> Там же, с. 158.

<sup>103</sup> Правильные многогранники — это тела, которые имеют равные стороны, грани или углы. Евклид называет их правильными телами. Эта проблема интересова-вала также и Дюрера.

<sup>104</sup> *Veltmann K. H.* Указ. соч., р. 189–190.

<sup>105</sup> Альбрехт Дюрер (1471–1528) родился в семье потомственного ювелира и «принадлежал к ремесленной среде города Нюрнберга. Заслуга великого немецкого мастера в том, что он сумел преодолеть ограниченность социального положения ремесленника и поднял значение искусства на новую, невиданную ранее высоту. Для него искусство уже не ремесло, «ибо оно божественно и служит высокой священной цели» и «если правильно его применять, можно достигнуть великой и вечной славы». На смену средневековой анонимности мастера приходит новое ренессансное сознание высокого предназначения художника как творческой личности (Эстетика ренессанса. Т. I. М.: Искусство, 1981, с. 537).

поскольку основана на зрении, «благороднейшем из чувств человека», окне души, которое «непосредственно ведет к интеллекту». Но поскольку живопись базируется на зрении, в основе ее лежит геометрия, причем это особая геометрия, понимаемая как учение о перспективе: «тому, кто доказывает свои суждения при помощи геометрии и умеет обосновать истину, должен верить весь свет»<sup>106</sup>. Математически строго рассчитанные картины Дюрера являются наглядной демонстрацией применения геометрических методов в живописи, в частности центральной перспективы<sup>107</sup>.

На основе учения о перспективе Дюрер конструирует также специальные механические приспособления для точного перспективного изображения предметов<sup>108</sup>.

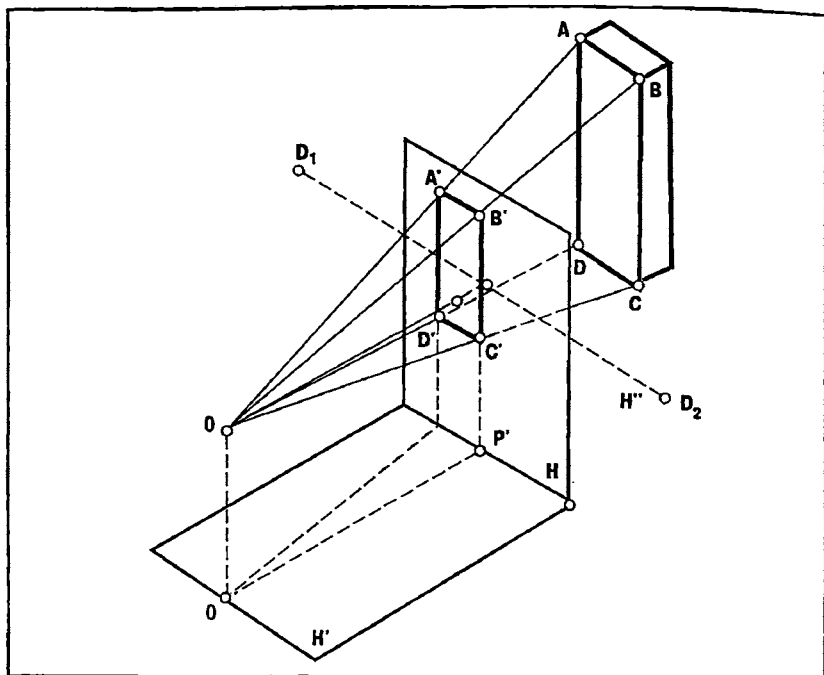
Таким образом, художники эпохи Возрождения придавали решающее значение математике, однако не абстрактной математике, отвлеченной от действительности. Альберти в связи с этим отмечает: «... я пишу об этих вещах не как математик, а как живописец; математики измеряют форму вещей одним умом, отрешившись от всякой материи». Альберти же желает изобразить вещи для зрения («живописец должен стараться изобразить то, что видимо»). Поэтому он дает материальные, зримые образы математических объектов: поверхность — это «крайняя часть тел, которая познается, не в своей глубине, а только лишь в своей длине и ширине, а также в своих качествах. Плоская поверхность будет такая, что, если положить на нее прямую линейку, она во всех частях будет к ней прилегать. С такой поверхностью очень сходна поверхность воды». И далее: «... поверхности приобретают

<sup>106</sup> Эстетика ренессанса. Т. I. М.: Искусство, 1981, с. 542, 547.

<sup>107</sup> Теорию центральной перспективы разработал Л.Б. Альберти. Согласно этой теории «зрительные лучи бывают крайними и средними, но особое место занимает центральный луч  $OP$ , совпадающий с осью зрения: «Центральным лучом будет тот единственный луч, который упирается в протяжении так, что все углы будут во все стороны равны». Зрительные лучи  $OA$ ,  $OB$ ,  $OC$ ,  $OD$  образуют пирамиду, основанием которой является предмет, а вершиной — глаз. Альберти формулирует правило: чем более острым является угол, опирающийся на глаз, тем меньшим кажется протяжение, а при большом удалении — уменьшенным до точки.

Если пирамида зрительных лучей пересечена картинной плоскостью  $H$  перпендикулярно центральному лучу  $OP$ , то в сечении получается перспективное изображение  $A'B'C'D'$  видимого предмета. Альберти понимает под картинной плоскостью «прозрачное стекло, через которое проходит зрительная пирамида», или «тончайшую завесу», через которую смотрят на предмет; он уподобляет ее также открытому окну» (*Матвиевская Г.П.* Альбрехт Дюрер — ученый (1471–1528). М.: Наука, 1987, с. 170–171).

<sup>108</sup> «На стене закреплена нить, имитирующая зрительный луч и протянутая к изображаемой точке предмета (лютни). Рисовальщик сидит перед рамой, которая закрывается дверцей с натянутой на ней бумагой. К раме приспособлены подвижные нити — вертикальная и горизонтальная. Пересечением этих нитей отмечается точка, в которой зрительный луч пересекает раму при открытой дверце. Затем длинная нить убирается, дверца закрывается, и на лист наносится точка пересечения подвижных нитей. Таким образом может быть получено сколько угодно точек изображаемого предмета». Этот метод, по всей вероятности, разработан самим Дюрером. Подобные методы были хорошо известны тогдашним мастерам живописи (*Матвиевская Г.П.* Указ. соч., с. 178–179).



**Рис. 36. Метод перспективного изображения, описанный Дюрером**

различия в зависимости от перемены места и света». Эти определения даются не математически, а скорее физически. Причем поверхности измеряются некими лучами, как бы служителями зрения, которые передают чувству форму предметов». Эти лучи Альберти представляет в виде тончайших нитей, идущих от глаза к противоположной поверхности. Таким образом, здесь налицо «математизация природы», характерная для современного математического естествознания со времен Галилея и Декарта, в отличие от качественной физики — «философии природы» Аристотеля.

Декарт, например, считал, что поскольку всякое тело имеет протяженность в длину, ширину и глубину, главной наукой о протяженной субстанции — природе (т. е. материи) — и универсальным инструментом ее познания становится геометрия. Математическое и физическое фактически сливаются. Для Декарта «весь мир превращается в громадное — беспредельно простирающееся — математическое тело»<sup>109</sup>. А поскольку мир одновременно представляет собой машину, то и механика превращается в отрасль математики. «К области математики относятся только те науки, в которых рассматривается либо порядок, либо мера, и совершенно несущественно, будут ли это числа,

<sup>109</sup> Гайденко П. П. Эволюция понятия науки (XVII–XVIII вв.). М.: Наука, 1987, с. 174.



фигуры, звезды, звуки или что-нибудь другое, в чем отыскивается эта мера ...»<sup>110</sup>. Но, сближая математику с физикой и механикой, Декарт, так же, как и Николай Орезм, вносит в математику принцип движения. «Органическое соединение физики как науки о движении с математикой, соединение, положившее начало экспериментально-математическому естествознанию Нового времени, требовало, во-первых, пересмотра оснований античной математики, внесения в нее начала движения, а во-вторых, пересмотра старой физики, освобождения ее от предпосылки, что сфера реального, природного бытия принципиально отличается от бытия идеального, каким занимается математика»<sup>111</sup>. Причем математика осознается как средство для расчета элементов создаваемой Декартом системы мира-машины, производящей аналогичные действия тем, которые наблюдаются в реальном мире. Точно так же и Леонардо да Винчи полагал, что истинное понимание естественного, природного достижимо только через искусственное. Поэтому он иногда использовал механические модели для иллюстрации органов тела, пытался соотнести абстрактные геометрические представления с конкретными неорганическими и органическими формами. Кроме того, он предполагал «использовать геометрию не только для каталогизации видимых проявлений движения вообще, но также проанализировать через визуальную регистрацию даже самые малые степени движения»<sup>112</sup>.

Леонардо да Винчи посвящает много времени наблюдениям за различными явлениями природы, работой механизмов, движениями человека и животных и т. д. Он записывает свои наблюдения часто в беспорядочной, несистематизированной форме. Что касается продуктивности для развития науки планируемых опытов или экспериментов, на этот счет существуют различные мнения. Несомненно, однако, что Леонардо не только описывал, но и сам ставил различные опыты.

«В тетрадях Леонардо так много записей о производстве опытов и все они настолько конкретны и определены, что невозможно усомниться в том, что опыты эти действительно производились: мы имеем дело с настоящим экспериментированием в современном смысле этого слова». В его описаниях опытов содержатся детали и расчеты, иногда чертежи и геометрические схемы. Приведем лишь один пример, характеризующий отношение Леонардо да Винчи к опыту и методике его проведения. «Опыт, подтверждающий вышеприведенное заключение о движении ... должен производиться следующим образом: должны быть взяты два шарика равного веса и формы и отпущены падать с большой высоты, так чтобы в начале движения они касались один другого, и экспериментатор ... пусть стоит на земле и смотрит, будет ли при их падении сохранено соприкосновение или нет. И этот опыт пусть будет произведен много раз, так чтобы какое-нибудь случайное обстоятельство ... не помешало бы или не исказило ... это доказательство, ибо опыт может оказаться ложным и обмануть или не обмануть экспериментатора»<sup>113</sup>.

<sup>110</sup> Декарт Р. Первоначала философии. Соч. В 2 т. Т. 1. М.: Мысль, 1989.

<sup>111</sup> Гайденок П. П. Указ. соч., с. 183–184.

<sup>112</sup> Veltmann K. H. Указ. соч., р. 192, 194.

<sup>113</sup> Гукковский М. А. Механика Леонардо да Винчи. М.-Л.: АН СССР, 1947, с. 437, 439.

Гениальные догадки Леонардо да Винчи, его эскизы и пояснения к ним, различные проекты и идеи так и не были им систематизированы и представлены вниманию широкой публики, однако они являются бесценным документом эпохи Возрождения, свидетельством проектности ее культуры и делают понятными истоки классического естествознания. Как считают исследователи, в записях Леонардо да Винчи содержатся не только его реализованные или нереализованные проекты, но и описания приспособлений и машин, изготовленных другими инженерами и изобретателями. Жанр его записок — это жанр «проектных записок», замечаний к проектам, прообраз будущих описаний изобретений, но пока это заметки для себя, проектные по своей направленности, хотя и засекреченные (написанные в зеркальном отображении) по типу алхимического рецепта, чтобы никто не мог претендовать на их авторство, что нередко случалось (социальный механизм защиты авторских прав ученого и изобретателей выработался значительно позже).

Художник-инженер-ученый превращается из рядового члена ремесленной корпорации в придворного, «князя искусств», самоценного Творца, носителя божественного таланта, владеющего даром Божиим, равного в искусстве самому Богу. Это находит отражение и в его одежде и в поведении, что наглядно подтверждают гравюры, на которых изображены цеховые мастера<sup>114</sup>. Это находит отражение и в самосознании данного социального слоя. Дюрер, например, первым начал подписывать не только картины и гравюры, но и рисунки, считая, что рисунок великого мастера ценится выше кропотливой работы ремесленника.

Для художников-инженеров-ученых эпохи Возрождения характерно стремление не канонизировать недосягаемые образцы, как было в средние века, не делать их достижением узкого круга мастеров данного ремесленного (в том числе и ученого) цеха, а совершенствовать, улучшать их, делать их всеобщим достоянием, обнародовать, «публиковать» их под своим именем, которое эти открытия и изобретения могут прославить. Эти образцы уже не рассматриваются как нечто экстраординарное в культуре Возрождения, созданное лишь для демонстрации силы науки — теперь архимедовы хитрые машины стали создаваться многими и повсеместно, они теперь нужны, труд их создателей оплачивается, существуют многочисленные заказчики и потребители.

Но практика, по утверждению Леонардо, «всегда должна быть построена на хорошей теории», а ошибочная теория «неизбежно приводила к порочной технике, ошибки последней больно отражались на ошибающемся. Отстать в военном деле, а следовательно, в его технике, означало потерять право на существование»<sup>115</sup>. Следовательно, и теория рассматривается теперь как нужная и полезная. Чертежи и описания, пометки на рисунках — та зримая идеальная реальность, в

<sup>114</sup> Weigel Ch. Die Bauleute. München: Verlag D.W. Callwey, 1963.

<sup>115</sup> Гуковский М.А. Указ. Соч., с. 224.

которой развивается и актуализируется мышление Леонардо. У него еще нет строгой понятийной системы, характерной для естествознания Нового времени, но логика предмета заставляет его переосмысливать слова обиденного языка, вкладывать в них новый научно-технический смысл. С развитием научного и технического образования возникает и новая научная и техническая литература<sup>116</sup>.

#### 4. Литературна ли научная проза и когда возникла научная и техническая литература?

Литературна ли научная проза? Однозначно ответить на этот вопрос непросто, поскольку он связан не только с формой выражения результатов науки, но и с ее самыми глубинными основаниями. Неопозитивисты, например, считали, что наступающая наука предполагает аксиоматическое изложение, и в этом случае ни о какой литературности с ее образной манерой изложения не может быть и речи. П. Фейрабенд, напротив, убежден, что между литературой и наукой почти нет разницы. Но, как обычно, истина лежит посередине. Да и сама наука не столь однородна, как иногда кажется стороннему наблюдателю. Здесь мы касаемся иной стороны вопроса — рассматриваем идеалы и нормы не *исследования*, а *изложения* полученных в науке результатов.

Не так уж сходны нормы и идеалы научного исследования и каноны его изложения в печати для гуманитарных и естественных наук, математиков, физиков и инженеров, и даже в рамках гуманитарных наук они далеко не всегда совпадают. Например, философы науки и историки науки, казалось бы, имеют общий предмет исследования, но каноны написания текстов и у них весьма различны. В философском журнале от автора потребуют *рассуждения*, развернутой аргумен-

---

<sup>116</sup>Новая, пока еще рукописная книга становится важным инструментом передачи знаний уже в средневековых университетах. Из единичного экземпляра, предмета роскоши она становится достоянием многих, и этот факт определяет как необходимость ее тиражирования, так и новую технику письма. «Преподаватели и студенты должны были читать включенных в программу авторов, требовалось сохранять курсы лекций профессоров. Студенты их конспектировали. Более того, эти курсы нужно было быстро распространять ... они должны были производиться не в единичном экземпляре. ... Возможность распространять официальные тексты курсов лекций имела огромное значение для университетов. ... Рост интенсивности в использовании книг преподавателями и студентами повлек за собой целый ряд последствий. Прогресс в обработке пергамента позволял получать листы меньшей толщины, более гибкие и не такие желтые, как у прежних манускриптов ... Изменился и формат книги. Теперь к книге часто обращаются, ее перевозят с места на место. Ее формат уменьшается, ею удобнее пользоваться на место тростинки приходит птичье перо, чаще всего гусиное, что способствует большей легкости и быстроте работы. Все делалось для облегчения работы с книгой. Развитие интеллектуального ремесла произвело эру учебников (*manuales*), т.е. книг, которыми манипулируют, которые часто держат в руках ... книга уже больше не является предметом роскоши, она стала инструментом. Речь идет о рождении нового — этапа на пути к печатному станку (*Le Гофф Жак. Интеллектуалы в средние века. — Долгопрудный: Аллегро-Пресс, 1997, с. 108–112*).

тации каждого утверждения, обсуждения оснований сделанных заключений, обобщения фактов. Для историка же науки важна последовательность (периодизация) и строгость исторических фактов, их документированность и скрупулезная проверка всех источников. Поэтому зачастую историки упрекают философов в недостаточной строгости и «добросовестности» в подборе и интерпретации фактов, а философы упрекают историков в отсутствии интересных и широких обобщений и гипотез относительно приводимых историко-научных фактов. Это и понятно: для философа такой факт — лишь один из многих, подтверждающих его концепцию и в принципе может быть приведен любой другой факт, если он в достаточной мере выражает основную идею философа; для историка науки — конкретный историко-научный факт — это научное достижение и предмет научной гордости, поэтому он так лелеет отдельные фактики и воздерживается от предельно широких обобщений — не они составляют его главную цель, а добывание и обоснование историко-научных фактов. Примерно таково же соотношение между ученым-теоретиком и исследователем-экспериментатором в естествознании. В известном смысле это конкурирующие и взаимодополнительные позиции в науке.

Ученый, который сотрудничает с журналами различного профиля, в полной мере ощущает эту разницу жанров и должен использовать разные стили изложения, описывая один и тот же предмет:

«С марта 1869 г. по декабрь 1871 г. Д.И. Менделеев разработал целостную совокупность взглядов о закономерностях периодического изменения свойств химических элементов по мере увеличения их атомных весов. Эти представления составили суть менделеевского учения о периодичности ...» (из журнала «Вопросы истории естествознания и техники»).

«Уровень нашего понимания сущности процессов и управляющих ими законов и закономерностей зависит от того, насколько широко и глубоко мы представляем сферу их распространения. Периодическое изменение свойств химических элементов (феномен периодичности), которое описывается законом Д.И. Менделеева, не представляет исключения ... (из журнала «Вопросы философии»).

Современное обыденное сознание воспитано на идеалах «строгой науки», где все лаконично, нет ничего лишнего и во всяком случае — никакой «литературщины» (ни в хорошем, ни в плохом смысле слова). Даже философские журналы стремятся избегать так называемого псевдолитературного стиля, зачастую превращая статью нестандартно мыслящего автора в тошнотворно наукообразное произведение. А в математических и физико-математических журналах обыденные слова русского языка выглядят даже неприлично рядом с научно-вескими формализмами. Хотя в гуманитарных изданиях открещиваются от формул, как от сатанинского наваждения, но внутреннее благоговение перед ними все же сохраняется — непонятно, но красиво и, самое главное, безусловно научно. Мы отнюдь не выступаем против формул как таковых, но употреблять их надо в тех случаях, если они действительно нужны, а не используются для придания тексту «научности». Во многих исследованиях в области технических

наук, например, вообще не требуются слишком точные и громоздкие расчеты. По этому поводу известный русский академик А.Н. Крылов писал, что многие инженеры «... с почти суеверным страхом относятся к возможности какого-либо сокращения в процессе расчета и ведут его «на всякий случай» с добросовестностью, достойной лучшего применения, и умопомрачающей (к тому же фиктивной совершенно) точностью ...»<sup>117</sup>.

Во многих изданиях культивируется излишне громоздкое и нарочито витиеватое описание. Бедный читатель! — Если он и продрался сквозь терновник словесных нагромождений, что может почерпнуть он из подобной монолитной фразы? Конечно, можно возразить, что это — *научный*, а не популярный текст. Но написан-то он (*должен быть* написан!) живым русским языком и обращен к людям, говорящим и читающим на этом языке! Именно это учитывал Галилео Галилей, обращаясь к своим читателям на разговорном итальянском, а не латинском языке, понятном лишь ученым, и оказался прав, в конечном счете доказав истинность новой науки и коперниканской гипотезы.

В связи с этим А.Х. Горфункель отмечает: «Борьба гуманистов против «варварской» латыни схоластов, за очищение классической латинской речи привела к созданию общеевропейского языка науки. При этом важно, что, отвергая сугубо технический, профессиональный, цеховой язык схоластической университетской учености, гуманисты включали современную им науку в общую литературную культуру эпохи, обращали ее к более широкому общественным кругам. Вместе с тем гуманистической культуре принадлежит заслуга разработки научной литературы на национальных языках, создания сперва национальных переводов творений древних авторов, а затем и национальной научной литературы. И здесь Галилей — наследник культуры итальянского гуманизма»<sup>118</sup>.

Это не значит, что надо изъять из научного языка все иностранные и непонятные обывателю слова — тогда и самый серьезный научный текст будет выглядеть комическим образом. В этом можно убедиться, сравнив два перевода книги Полидора Вергилия «О изобретателях всех вещей». Перевод 1720 г.: «... яко Иоанн Кутенберг, родом тевтоник, муж баронския чести, яко же от него граждан взяхом. Первый из всех во граде немецком, который могунцией нарицается, сию печатаемых Литер хитрость выдумал, и во первых тамо оную творити начал. Не меньшею остроотою обретяся от того же (яко же глаголют) автора, новый чернил род, который нынче писмен печатаницы токмо употребляют». Перевод 1782 г.: «Итак Иоанн Гутенберг уроженец Тевтонский, достоинством кавалер, как граждане его сказывают первый из всех в городе германском Могунцией, называемом, сие искусство для печатания изобрел и первым делом производить печатание начал, по изобретении им же с не меньшим тщанием нового рода чернил, которых ныне типографщики одни употребляют».

Первый перевод был сделан, когда в России еще не было устоявшейся научной терминологии, второй — когда она уже начала формироваться. Поэтому слово «изобретатель» переведено в первом случае как «хитрость выдумал», а изобретателей тогда

<sup>117</sup> Ханович И. Г. Юлиан Александрович Шиманский. М.: Наука, 1978, с. 12.

<sup>118</sup> Механика и цивилизация XVII–XIX вв. М.: Наука, 1979, с. 26.

звали «хытрецы». Однако сегодня это слово воспринимается нами с определенной долей юмора, и никто не требует употреблять именно его, а не ставшее общераспространенным слово «изобретатель».

Заметим, что ученые писали и стихами — например, научно-философская поэма Тита Лукреция Кара «О природе вещей» написана в стихотворной форме. Однако в настоящее время, когда выработан четкий стиль научного рассуждения, вряд ли была бы серьезно встречена попытка изложить в стихах, скажем, теорию относительности. Форма должна соответствовать содержанию. Поэтому так тяжело читается этика Спинозы, построенная по канонам аксиоматического изложения, — в математике и математической физике подобное изложение часто необходимо, но в философии и гуманитарных науках только мешает воспринимать мысли автора. Как утверждает философ науки Имре Лакатос, работавший главным образом на материале истории и методологии математики, и в самой математике далеко не все сводится к каноническому аксиоматическому изложению.

Конечно, нельзя требовать, чтобы строгие научные понятия вошли в обиход. Каждое такое понятие, например «емкость» в физике, несет на себе не только далекий от обыденного смысл, но и особое теоретическое представление (схему), закрепленное за ним в данной конкретной теории. Хотя слово «емкость» в русском языке означает «пустой сосуд», в науке оно имеет иной смысл (этимологически, может быть, и близкий к первоначальному обыденному значению, но теперь уже не тождественный ему). «Емкость» в электростатике связывается с распределением положительных и отрицательных зарядов на обкладках конденсатора, в электродинамике — с изменением электро-магнитного поля, в теории электрических цепей — с прохождением через него электрического тока. И вне этого теоретического контекста данное понятие или меняет или теряет свой смысл.

И все же, когда возникла современная научная проза? — Можно сказать в то время, когда ученые начали публиковать свои труды в широкой печати. (Конечно, научные трактаты создавались и раньше, но они были за пределами современной научной культуры и нами здесь не рассматриваются.) Поэтому в науковедении («науке о науке») такое важное значение придается анализу динамики массива публикаций. Именно посредством публикаций происходят социализация результатов научного исследования, его конструктивная критика и развитие.

Науковеды выделяют несколько жанров научных публикаций: статьи, обзоры и рефераты, монографии, учебники и научно-популярные издания академического типа. Например, во времена Ньютона предпочтение отдавалось трактатам. Оперативную научную коммуникацию обеспечивали письма, переписка между учеными, но они не закрепляли авторства в достаточной степени. Сегодня основным средством оперативной научной коммуникации являются статьи, но и они уже не являются в достаточной степени «оперативными»: результаты, полученные на переднем крае научного исследования, становятся достоянием читательской аудитории лишь через два-три года, и это не следствие журнальной волокиты — именно столько времени занимает редакционно-издательский процесс. Поэтому в последнее время среди ученых становятся все более популярными так называемые депоненты и препринты — они не требуют тщательного

редактирования и апробации и рассылаются лишь узким специалистам и заинтересованным лицам, а также закрепляют авторство, хотя и рассматриваются как предпубликации.

Чтобы более точно определить время возникновения современной научной литературы, надо снова обратиться к истокам современной науки — прежде всего к работам Галилео Галилея. Мы уже не раз подчеркивали, что именно с Галилея берет начало экспериментальное и математизированное естествознание и, изучая его творчество, можно многое понять в современной науке, в том числе и процесс формирования особого научного стиля изложения результатов научного исследования. Как отмечает А.Х. Горфункель, именно с этого времени научный текст «утрачивает значение незыблемого авторитета, приобретая историю, он перестает быть вневременным источником истинного знания. В конечном счете, это отношение распространяется даже и на текст священного писания, что тоже было немаловажно для культурной ситуации в целом. Но — главное — коренным образом меняется отношение самого ученого к тексту: из толкователя традиционного текста он превращается в творца, создателя нового текста — в философии, филологии, в науке»<sup>119</sup>.

Хорошо известно, что Галилей для изложения своих основных трудов — «Диалог о двух системах мира — птолемеевой и коперниковой» и «Беседы и математические доказательства» — избрал форму диалогов, заимствовав ее у Платона. Стиль его диалогов литературен, изложение доступно многим, ибо Галилей обращался к широкой читательской аудитории, а не только к «академическим» ученым, читающим и пишущим по латыни. Его «Диалог» и «Беседы» читаются с увлечением до сих пор.

Они, конечно, отличаются от «Начал» Ньютона, ставших на долгие годы образцом научного трактата, но отличаются и от записок Леонардо да Винчи, не предназначенных для широкого круга читателей. От «Начал» их отличает «нестрогость» изложения, а от записок Леонардо да Винчи — стремление аргументированно и развернуто доказать широкой публике правоту своей точки зрения. Именно в силу логики изложения Галилей рассуждает более научно, чем Леонардо да Винчи, который, хотя и гениально предвосхитил многие будущие научные идеи и инженерные замыслы, но писал, как уже говорилось, «для себя», подчиняясь установке средневекового ученого на эзотерическое, тайное познание.

Средневековому ученому была незнакома борьба за приоритет, так характерная для науки Нового времени. Ньютон и Лейбниц потратили много времени и сил на споры о приоритете создания дифференциального исчисления, а Фарадей и Воластон — на споры о приоритете открытия электромагнитной индукции. Средневековый ученый и изобретатель, напротив, как уже упоминалось, старался приписать собственные нововведения божеству или, в крайнем случае, традиции. Поэтому так много было в средние века «псевдоаристотелей», хотя под видом комментариев к аристотелевским книгам

---

<sup>119</sup> Механика и цивилизация в XVII–XIX вв. М., 1979, с. 26.

нередко выпускались оригинальные философские и научные труды.

И все же научная литература начинает формироваться именно в средние века — сначала в виде публикации лекций в университетах. Официальные тексты лекций издавались средневековыми университетами в виде книг небольшого формата, более удобного для чтения (с рубрикацией, содержанием, нумерацией страниц, алфавитным списком сокращений). Из предмета роскоши они превратились в важный инструмент повседневной работы и предмет массового производства и торговли<sup>120</sup>.

Научные идеи Леонардо да Винчи занимают промежуточное место между средними веками и Новым временем. Эпоха Возрождения возвысила личность до человека-Творца (поэтому в это время появляется целая лавина изобретений и открытий, зачастую уже изобретенных и сделанных в древности), но еще не создала социальных механизмов, достаточно четко фиксирующих авторство. Да и «научное сообщество» и публика тогда не были еще готовы к восприятию идей Леонардо да Винчи. Он обращался к самому себе и, возможно, к потомкам, но не к современникам, поэтому, подобно средневековому алхимику, скрывал свое знание от непосвященных, облекая в старые формы новую научную мысль.

И все же наука не так далека от литературы, как иногда предполагают. Прежде всего и та, и другая имеют общее мифологическое прошлое. Фейерабенд, быть может, впадая в другую крайность, замечает, что «сходство между наукой и мифом действительно является удивительным», а И.Д. Рожанский утверждает, что первые древнегреческие натурфилософы рационализировали мифы, которые составляли основу разработанных ими концептуальных систем (например, древнеиранские мифы, связанные с культом огня, стали основой философского учения Гераклита о вечно возникающем и вечно возвращающемся огне)<sup>121</sup>.

Ученые, однако, могут возразить, что наука — это не литературная деятельность, поскольку изложению на бумаге всегда предшествуют исследование и эксперимент. Но если отвлечься от физического эксперимента и рассматривать научное исследование в более широком смысле, имея в виду и гуманитарное познание, то разве романы Пушкина, Достоевского, Томаса Манна не основаны на самых тщательных и поразительных по глубине и достоверности не только психологических, но и исторических исследованиях?

Литераторы, со своей стороны, возразят, что писатель мыслит и излагает образами, а ученый — понятиями и формулами. Действительно, для науки очень важна концептуальная работа, разработка системы взаимосвязанных и взаимоопределяющих понятий. Но каждому такому понятию, каждой теоретической схеме предшествует

---

<sup>120</sup> *Le Goff J. Die Intellektuellen im Mittelalter. München: Deutscher Taschenbuch Verlag, 1994, S. 94–95.*

<sup>121</sup> *Рожанский И.Д. Развитие естествознания в эпоху античности. М.: Наука, 1979.*



образ — в истории науки можно найти множество примеров того, что именно образное мышление было основой и стимулом для создания новых, самых, казалось бы, абстрактных теорий — например, фарадеевы электромагнитные линии в виде трубок с несжимаемой жидкостью, падающей со скоростью света лифт у Эйнштейна, многочисленные мысленные эксперименты Галилея и т. д. Это, конечно, не художественные, а научные образы, но все же образы. Значит, сходство и различие между научным и литературным или художественным творчеством выражено не явно, а заключено в тайниках человеческого мышления.

Иногда литературоведы считают, что литературное творчество неизмеримо выше научного. С этим следует согласиться, если сравнить выдающиеся литературные произведения с рядовыми научными текстами, и это противоречит действительности, если речь идет о новаторских, революционных работах выдающихся ученых, затрагивающих основания науки. Такие работы не менее вдохновенны, чем книги известных писателей, не теряют актуальности и доставляют не меньшее наслаждение заинтересованному читателю, чем, например, романы Достоевского. Но ведь и эти романы не всегда и не всем доступны в своем глубинном понимании, к их восприятию тоже нужно подготовиться. А если говорить о влиянии на современное мировоззрение и общественное сознание, то разве теория относительности не произвела переворот не только в науке, но и в миропонимании современного человека?!

Можно сказать, что научный текст «конструируют», а литературный «творят», но это утверждение относится лишь к научному тексту, не блещущему особыми достоинствами. И у литературных текстов, не относящихся к числу выдающихся, видны «швы». Американский историк и философ науки Т. Кун называет такого ученого-ремесленника нормальным ученым, а науку, которой он занимается, — нормальной наукой. Работа такого ученого, несомненно, важна для науки, но в основном лишь для решения стандартных научных задач. Так же и в литературе легко (по крайней мере по прошествии времени) отличить мастера от эпигона, хотя и являющегося профессионалом в своем писательском ремесле, работа которого, как утверждают некоторые, тоже важна для литературы. Но подлинным писателем мы назовем Мастера.

Несмотря на некоторое сходство этих двух жанров — литературного и научного, — несомненно, имеется и глубинное различие художественного и научного стилей мышления, которые получили наибольший расцвет в современной европейской культуре соответственно в эпоху Возрождения и Новое время. «Однако, — пишет Ц.Г. Арзаканян, разбирая особенности стиля мышления Леонардо да Винчи, — поскольку они зарождались и развивались на конкретной «национальной» почве, то повсюду на какой-то период выдвигалась одна базовая, ведущая форма или сфера культуры, которая в основном и определяла культурную «физиономию» данной страны. Для Италии эпохи Возрождения таковой были литература и искусство, хотя здесь развивались и

промышленность, и техника, и инженерное дело. «Современная» наука и философия сформировались в других странах Западной Европы позднее. И все же они — различные формы реализации одного социального и духовного процесса»<sup>122</sup>. Поэтому и техническое мышление, становясь инженерным, испытывает на себе влияние этих двух фундаментальных стилей мышления, что четко прослеживается в творчестве Леонардо да Винчи, — именно в творчестве, а не в его записках, являющихся отражением его творчества — «готовыми продуктами мысли» (подлинным продуктом творчества Леонардо да Винчи были не только созданные им картины, скульптуры, архитектурные сооружения, машины, проекты и т. д., но и новый тип мышления — инженерно-художественный).

В Новое время в Европе определяющим (хотя далеко не единственным) становится научный, точнее, научно-технический, стиль мышления. Одна из важных заслуг академий наук заключается в том, что они создали научную прозу как новый «литературный» жанр, новую литературную форму научного сочинения. Как отмечает А.Х. Горфункель, это «вопрос не только жанрового многообразия, но раскованности свободы выбора формы, свободы от следования выбранным образцам, что имеет прямое отношение и к содержанию ученого сочинения, и к его ориентации на иные, новые общественные слои — вне узко корпоративной замкнутости средневековой науки. Открытый диалог Галилея и его послания, обращенные (как «Послание к Инголи» не к названному в заглавии адресату, а к общественному мнению, современной научной и околонаучной интеллигенции, — необъяснимы вне литературной гуманистической традиции», сформировавшейся впервые в эпоху Возрождения. У Галилея, находящегося на перепутье этих двух поворотных эпох в развитии современной человеческой цивилизации, стиль мышления находится еще под сильным влиянием художественной культуры и поэтому может быть назван научно-художественным, точнее научно-художественно-техническим, что нашло отражение в соответствующей форме подачи им научного текста (в отличие от «строго научного» текста Ньютона). Однако он уже отчетливо подчеркивает, что «письменное изложение представляет собой единственный способ научить различать истинное от ложного, действительные причины от кажущихся»<sup>123</sup>. Данное утверждение Галилея противоречит замечанию Леонардо да Винчи о приоритете рисунка над словесным описанием. Эти два главных стиля мышления оказали и сильное влияние на переход от технического мышления ремесленников к инженерно-художественному мышлению мастеров-инженеров эпохи Возрождения, а затем к современному инженерно-научному мышлению и, несомненно, на возникновение нового типа технической литературы.

---

<sup>122</sup> Арзаканян Ц.Г. Проблема преемственной связи Возрождения с «эпохой научной революции» // Вопросы истории естествознания и техники, 1984, № 2, с. 13.

<sup>123</sup> Галилей Галилео. Избранные труды. В 2 т. М.: Наука, 1964, т. 2, с. 42.

Первая техническая литература появилась в эпоху Возрождения — это были прежде всего различные энциклопедии технических знаний, например фундаментальный труд итальянского ученого и инженера эпохи Возрождения Ванноччо Беренгуччо «Пиротехния», вышедший на итальянском языке в 1540 г., — по сути первая производственно-техническая энциклопедия, содержащая практические сведения и рецепты, почерпнутые у ремесленников и из собственной многогранной инженерной практики автора относительно производства металлов и сплавов, разведки и добычи полезных ископаемых, получения и обработки черных, цветных и благородных металлов, производства химических веществ (минеральных красок, серы, кислот, спиртов и т. д.); работа немецкого ученого и инженера Георгия Агриколы «О горном деле и металлургии в двенадцати книгах», вышедшая на латинском языке в 1556 г., и др. В более позднее время к жанру технической литературы могут быть отнесены так называемые театры машин и театры мельниц. Наиболее полное издание такого театра машин принадлежит Якобу Леопольду (1674–1727), выпустившему десатитомное описание всех существовавших к тому времени машин. К технической литературе подобного типа относятся и современные технические справочники, наиболее известным из которых в области машиностроения является знаменитый многотомный справочник «Hütte».

Несколько иной тип технической литературы, претендовавший на развитие «технической теории», основывался не столько на обобщении технической практики или описании технических рецептов, сколько на предписании ей определенных эстетических идеалов. Примером такого рода литературы был, например, трактат Альберти, в котором излагалась художественная теория инженерного, архитектурного и другого творчества, заменившая возникшую несколько позже естественнонаучную теорию техники. С развитием научной литературы техническая литература все более и более стремилась подстраиваться под сформировавшиеся в ней нормы изложения. Художественный стиль мышления вытесняется научным.

Такого рода попытки научного описания техники были в первую очередь объяснялись началом систематического научного обучения инженеров, которым потребовались учебники, систематизирующие научные и технические знания. Первым таким учебником был учебник строительного искусства французского военного инженера и профессора математики, члена Французской академии наук Белидора «Наука инженерного дела», опубликованный в 1729 г. Технические журналы появляются одновременно с образованием профессиональных инженерных обществ по типу научных академий на основе профессиональных содружеств инженеров, одной из задач которых, по свидетельству А. Н. Боголюбова, «было оказание помощи их членам в усовершенствовании их знаний».

Союз германских инженеров, например, учредивший собственный журнал, был основан в 1856 г., Русское техническое общество — в 1866 г., а американское общество

инженеров-механиков, выпускавшее «Инженерный журнал», — в 1880 г. В 1912 г. был создан американский институт радиоинженеров (ИРИ) на основе «Общества беспроводной связи» и Института беспроводной связи». Если в 1912 г. ИРИ насчитывал всего 46 человек, то в 1913 г. — 109, а в 1927 г. — уже 4120. Целями ИРИ стали обмен мнениями о технических достижениях, отчеты о проделанной работе, развитие науки и техники в области радио, публикация работ по этой отрасли инженерной деятельности и др. Первый журнал «Труды ИРИ» был издан в 1913 г. и выходил сначала один раз в 3 месяца, с 1916 г. — 6 раз в год, а с 1927 г. — ежемесячно. Журнал, в котором печатались статьи и материалы дискуссий, скоро стал ведущим в области радио. Сегодня ИРИ издает большое количество периодических изданий и материалов конференций, в том числе и международных, проводимых его профессиональными группами. Как и профессиональные общества ученых, ИРИ всегда считал одной из основных своих задач публикацию статей. Согласно его уставу для присвоения звания члена ИРИ требуется публикация важных оригинальных технических и научных статей, книг или отчетов об исследованиях. Таким образом, технические публикации постепенно заняли важное и прочное место в инженерном сообществе, как и научные — в научном<sup>124</sup>.

Огромное значение технической литературы для стимулирования развития инженерных исследований и разработок подтверждает, например, тот факт, что на развитие радиолокации в нашей стране существенное влияние оказала организация при Совете по радиолокации в 1946 г. Информационного центра с типографией. За короткое время им было подготовлено и опубликовано множество обзоров и монографий, проведен ряд конференций и семинаров, материалы которых также публиковались, наконец, начал издаваться специальный журнал.

Все эти процессы и обусловлены в первую очередь институализацией научной и инженерной деятельности, выработкой новой философии науки и техники, ставшей методологической основой классической науки и традиционной инженерии.

---

<sup>124</sup> Хенни К. Рост числа публикаций и их значение // Труды института по электротехнике и радиоэлектронике, 1962, т. 50 № 5, ч. 1; Виттемор Л. 50 лет института радиоинженеров. — Там же.

### **Глава 3. ИСТОРИКО-НАУЧНЫЙ ФАКТ И ЕГО ИНТЕРПРЕТАЦИЯ: «НОВАЯ НАУКА» ГАЛИЛЕО ГАЛИЛЕЯ И ЕЕ ОТНОШЕНИЕ К ТЕХНИКЕ С ТОЧКИ ЗРЕНИЯ СОВРЕМЕННЫХ МЕТОДОЛОГИЧЕСКИХ КОНЦЕПЦИЙ ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ**

Известно, что с именем великого итальянского ученого Галилео Галилея связаны установление коперниканской гелиоцентрической системы мира, открытие телескопа и конфронтация с ортодоксальным учением христианской церкви. По этому поводу написано огромное количество исторических и художественных работ, и почти каждый философ науки в той или иной мере анализировал галилеевскую методологию экспериментального и математизированного естествознания. Именно поэтому мы решили остановиться на его учении и связанном с ним методологическом прорыве физики на передний край научного исследования, заложившим основы не только классического экспериментального и математизированного естествознания, но и современной *научной техники*. На этом конкретном историческом материале попытаемся проследить различия и взаимодополняемость интерпретаций истории науки в современной философии науки, прежде всего с точки зрения разных моделей структуры и развития науки, разработанных философами науки.

В качестве историко-научного факта признано, что коперниканская революция и связанная с ней галилеева методология науки основаны на данных, полученных в далеком прошлом. Греческие астрономы и натурфилософы формировали свои представления о мире и Космосе исходя из накопленных до них вавилонянами и египтянами наблюдений за небесными телами, установивших известную регулярность их движений. Однако если древние народы Востока использовали эти наблюдения преимущественно для практических и конкретно-культурных целей, то древнегреческие астрономы и натурфилософы пытались рационально объяснить небесные явления на основе общих теоретических представлений, рассматривая астрономию как чисто математическую дисциплину. И хотя в Древней Греции существовало несколько теоретических моделей Вселенной — как гелиоцентрических (Филолай, Аристарх), так и геоцентрических (систематизированных в известном труде Клавдия Птолемея «Альмагест»), — господствующее представление о Космосе, признанное христианской церковью единственно истинным, было основано именно на геоцентрической картине мира, философски обоснованной учением Аристотеля о естественном

(ненасильственным) движении каждого тела к своему «естественному месту» и идеальному круговому движению шарообразных небесных тел. В то же время само это обоснование систематических, детального и количественного описания всех небесных движений в «Алмагесте» аристотелевской качественной физикой и космологией содержало противоречие, приведшее к так называемой коперниканской революции, корни которой можно отыскать уже в трудах средневековых авторов. Свою лепту в эту научную революцию внесли ученые Нового времени — Тихо де Браге, Коперник, Галилей, Кеплер, Ньютон и др. Теоретическое завершение новая небесная механика нашла в ньютоновской физике, а окончательное экспериментальное подтверждение — в теоретическом предсказании и открытии Вильгельмом Гершелем новой планеты Солнечной системы — Урана — с помощью построенного им зеркального телескопа. В начале XX в. ньютоновская небесная механика, казавшаяся неопровержимым образцом научной теории, потерпела поражение в связи с развитием теории относительности.

Таково краткое содержание этого увлекательного историко-научного приключения. Однако современные философы и историки науки, решив ответить на поставленный ими же сложнейший вопрос, *что такое историко-научная реальность*, неоднократно выдвигали различные взаимодополняющие, а часто и противоречащие друг другу интерпретации этих событий, развенчивающие старые и создающие новые исторические мифы.

К такого рода мифам относится, например, псевдоисторическая оценка роли Галилея, отказавшегося от своих идей, но сохранившего жизнь, и Джордано Бруно, отважно пошедшего на костер ради своих убеждений, но Дж. Бруно сгорел на костре как еретик и чернокожничник, оставив после себя лишь немногие произведения и догадки о строении Космоса, множественности миров и т. д., а Галилей разработал аргументированную методологию, которая составила основу и будущей экспериментальной науки, и научной техники.

Другим таким мифом, не имеющим никакого исторического подтверждения, было расхожее представление о Галилее-экспериментаторе, которое в гротескной форме описал П. Фейерабанд: согласно этому мифу Галилей проводит эксперимент за экспериментом и взбирается на Пизанскую башню со стопудовым пушечным ядром подмышкой и с пятидесятипудовым ядром в другой руке. По свидетельству голландского историка науки Дикстерниса<sup>1</sup>, нужно с осторожностью относиться к рассказам о проводимых Галилеем экспериментах. Обычно они проводились им лишь мысленно или описывались лишь как возможные. Тем самым, однако, Галилей заложил основы не только новой философии исследования в рамках экспериментального естествознания, но и новой философии проектирования (научного, т. е. основанного на науке).

Прежде чем перейти к интерпретациям методологии Галилея, приведем некоторые данные его биографии<sup>2</sup>:

---

<sup>1</sup> Dijksterhuis E.J. Die Mechanisierung des Weltbildes. Berlin/Göttingen/Heidelberg: Springer Verlag, 1956.

<sup>2</sup> Galilei Galileo. Schriften. Briefe. Dokumente. Hrsg. Von Anna Mudry. Bd 2. Briefe. Dokumente. München: Verlag C.H. Beck, 1987, S. 302–305.

- 1564 г., 15 февраля – день рождения Галилея в итальянском городе Пиза в семье музыканта;
- 1574 г. – переезд семьи во Флоренцию;
- 1581 г. – поступление в Пизанский университет для изучения медицины;
- 1583 г. – начало занятий геометрией и первые наблюдения за движением маятника;
- 1585 г. – прекращение обучения в университете и возвращение во Флоренцию;
- 1586 г. – продолжение изучения математики частным образом, конструирование гидростатических весов;
- 1587 г. – первая поездка в Рим;
- 1589 г. – Галилей становится преподавателем математики Падуанского университета;
- 1593 г. – создание трактата, посвященного фортификации, и трактата о механике;
- 1597 г. – письмо Кеплеру с первым письменным признанием учения Коперника<sup>3</sup>;
- 1604 г. – открытие закона свободного падения;
- 1608–1609 гг. – доказательство закона свободного падения;
- 1609 г. – в июле (августе) Галилей конструирует подзорную трубу, а 20 августа демонстрирует ее в Венеции; его кафедра в Падуе закрепляется за ним пожизненно, а жалование удваивается;
- 1609–1610 гг. – открытие гор на Луне, спутников Юпитера, пятен на Солнце и фаз Венеры;
- 1610 г. – публикация «Звездного вестника»; Галилей оставляет кафедру в Падуе и становится первым математиком и философом герцога Тосканского;
- 1611 г. – вторая поездка в Рим и знакомство с кардиналом Барберини; принятие Галилея в члены Академии деи Линчеи;
- 1615 г. – папский донос на Галилея римской инквизиции; третья поездка в Рим;
- 1616 г. – декрет о запрете коперниканства;
- 1620 г. – снятие запрета с учения Коперника после внесения незначительных исправлений;
- 1623 г. – избрание кардинала Барберини папой (Урбан VIII);
- 1624 г. – четвертая поездка Галилея в Рим;
- 1625 г. – начало работы над «Диалогом о двух главнейших системах мира, птолемеевой и коперниковой»;
- 1630 г. – окончание работы над «Диалогом»; пятая поездка в Рим;
- 1632 г., февраль – публикация во Флоренции «Диалога о двух главнейших системах мира»;
- 1632 г., август – папский запрет «Диалога»; вызов Галилея в Рим на суд инквизиции; Торичелли пишет Галилею, что он с удовольствием проштудировал его книгу и счастлив родиться в том же столетии, что и Галилей, оракул природы, которому он выражает в письме свое глубокое уважение<sup>4</sup>;
- 1633 г. – в январе Галилей отправляется в Рим, где трижды подвергается допросу и 22 июня отказывается от коперниканского учения, получив приговор пожизненного домашнего ареста; в приговоре святой инквизиции от 22 июня записано: «то, что Солнце является центром мира и находится в пространстве без движения, является противоречащим философскому смыслу, ложным и формально еретическим утверждением, так как оно явно противоречит святому писанию»<sup>5</sup>;

<sup>3</sup> Galilei Galileo. Указ. соч., С. 9.

<sup>4</sup> Там же, С. 91.

<sup>5</sup> Там же, С. 206.

- 1635 г. — перевод «Диалога» на латинский язык;  
1636 г. — отказ Галилея от золотой цепи, присужденной ему в знак признания заслуг генеральными штатами Нидерланды;  
1638 г. — в Голландии публикуется его труд *Discorsi*; Галилей полностью ослеп;  
1641 г. — Торичелли становится учеником и сотрудником Галилея;  
1642 г., 9 января — смерть Галилея и его похороны во Флоренции;  
1837 г. — исключение «Диалога» Галилея из папского индекса;  
1890–1909 гг. — полное издание всех трудов Галилея во Флоренции.

## 1. Неопозитивистская интерпретация методологии Галилея Рейхенбахом<sup>6</sup>

Согласно Рейхенбаху знаний Аристотеля о структуре мира было недостаточно для формулировки общих законов. Его астрономия основана на геоцентрической системе мира, согласно которой центром Вселенной является Земля. Никто не обвиняет его в том, что он ничего не знал о вещах, которые могли быть открыты лишь с помощью телескопа или микроскопа, однако его ошибкой была замена объяснения плохими аналогиями. Как и другие космологии его времени, например учение Платона об идеях, являющееся не наукой, а поэзией, учение Аристотеля является продуктом фантазии, а не логического анализа. Платоновская космология, изложенная им в «Тимее», отличается от наивной сказки лишь манерой изложения, т. е. использованием абстрактного языка. У древних греков не было науки, которую можно было бы сравнить с нашей физикой, а Платон не знал, чего можно достичь путем комбинирования математики с наблюдением. Все же даже ко времени Платона была развита одна область естествознания — астрономия, в которой отмечались огромные успехи. С помощью тщательных наблюдений и геометрических соотношений уже с очень высокой точностью были установлены математические законы обращения звезд и планет. Платон, однако, не придавал большого значения наблюдениям в астрономии, и утверждал, что астрономия лишь постольку является наукой, поскольку движение звезд познается с помощью разума и интеллекта. Наблюдения за звездами не могут определить законы их обращения, поскольку действительное движение звезд является несовершенным и не строго управляется этими законами. Платон называет абсурдным предположение о том, что действительное движение звезд вечно и не имеет погрешностей. Он негативно отзывался об астрономах-наблюдателях: те, кто пытается глазеть вверх или бросать взгляд вниз, чтобы что-нибудь научно схватить с помощью чувственных восприятий, никогда ничего не

---

<sup>6</sup> Ханс Рейхенбах (1891–1953) — немецкий философ, представитель логического позитивизма (неопозитивизма); защитил свою первую диссертацию в Эрлангене, вторую — в Штутгарте; в 1926–1933 гг. был профессором в Берлине, в 1933–1938 гг. — в Стамбуле (Турция), в 1938–1953 гг. — в Лос-Анджелесе (США). Рейхенбах поддерживал тесный контакт с представителями Венского кружка и участвовал в основании так называемой Берлинской группы неопозитивистов.



изучат научно, поскольку наблюдение не имеет ничего общего со знанием; вместо наблюдений за звездами надо пытаться установить законы их движения с помощью размышления. Это убеждение в том, что знания о природе могут быть получены с помощью не наблюдений, а одного лишь разума, как нельзя более явно демонстрирует отрицание эмпирической науки.

По Рейхенбаху греки преуспевали лишь в тех науках, в которых можно было применить математические методы. Свои открытия в области астрономии они сделали, руководствуясь системой Птолемея, александрийского ученого II в. н.э., который утверждал, что Земля является шаром. Он сопоставлял уже сделанные астрономические наблюдения с геометрическими доказательствами, однако убеждал, что движется не Земля, а вращаются небесные сферы и вместе с ними Солнце, Луна и звезды. Эти сферы допускали и независимые движения, поскольку Солнце и Луна не имели определенного места под звездами, а двигались по собственным круговым орбитам. Планеты описывали кривые необычной формы, которые, по Птолемею, были результатом двойного кругового движения. Эти движения происходили одновременно — представление о них можно получить, если представить движение человека, сидящего на карусели, которая смонтирована на еще большем эксцентрическом круге. Рейхенбах отмечает, что птолемея астрономическая система, называемая также геоцентрической, используется сегодня лишь для того, чтобы отвечать на все астрономические вопросы, связанные только с картиной звездного неба и позволяющие решать навигационные проблемы. Эта применимость системы Птолемея на практике доказывает высокую степень истинности.

Представление о том, что Солнце находится в состоянии покоя, а Земля и планеты движутся вокруг него, было незнакомо грекам. Хотя Аристарх Самосский еще в 200 г. до н.э. разработал гелиоцентрическую систему, его современники не могли оценить ее. Греческие астрономы также не смогли признать учение Аристарха, так как в то время механика была еще весьма несовершенной. Птолемей, как уже упоминалось, в противоположность Аристарху утверждал, что Земля неподвижна, так как в противном случае падающий камень двигался бы по направлению к Земле не перпендикулярно, а летящие птицы не поспевали бы за движущейся землей и приземлялись на другое место, и только в XVII в. был проделан эксперимент, доказавший ошибочность аргументов Птолемея.

Французский аббат Гассенди сбросил с мачты на палубу движущегося корабля камень, который упал точно к подножию мачты — если бы механика Птолемея была истинной, камень упал бы далеко позади мачты. Тем самым Гассенди экспериментально подтвердил открытый незадолго до того Галилеем закон свободного падения, согласно которому падающий камень заключает движение корабля уже в самом себе и сохраняет его во время падения. Рейхенбах выражает недоумение по поводу того, что Птолемей не провел аналогичного эксперимента, и объясняет этот факт тем, что грекам вообще не приходила в голову мысль о научном эксперименте — они признавали лишь простое наблюдение и измерения. Эксперимент — это вопрос, поставленный природе; научный

эксперимент изолирует отдельные факторы друг от друга. С помощью таких искусственных событий в рамках планируемого эксперимента сложные явления природы разделяются на отдельные части.

Именно с Галилея, по мнению Рейхенбаха, начинается эпоха современной науки. Он является творцом количественного и экспериментального методов. В процессе открытия закона свободного падения он соединил воедино эксперимент с измерением и математической формулировкой. Одновременно с Галилеем целое поколение ученых стало использовать эксперимент для научных целей.

Телескоп, например, был изобретен голландским шлифовальщиком линз, и был использован Галилеем впервые для наблюдения за небом. Другой итальянец, Торичелли, ученик Галилея, изобрел барометр и показал, что воздух оказывает давление, которое, как доказали более поздние экспериментаторы, уменьшается с увеличением высоты. Немецкому изобретателю Герике принадлежит открытие воздушного насоса, а Вильям Гильберт, дворцовый врач королевы Елизаветы, исследовал явление магнетизма и опубликовал полученные результаты. Так наблюдения и эксперименты создали совершенно новый мир научных фактов и законов.

Первый шаг к научному исследованию составила классификация Фрэнсиса Бэкона, который, однако, не смог разработать теорию индуктивного метода математической физики. Лишь Галилей, современник Бэкона, создал математический метод, который превзошел бэконовскую классификацию. Однако для развития действительно научного подхода, по мнению Рейхенбаха, необходимо было разработать и метод математической гипотезы — это впервые удалось Ньютону, создавшему гравитационную теорию, которая продемонстрировала большое значение комбинирования дедуктивного и индуктивного методов.

Значение математического метода для понимания физического мира, метода, важность которого подчеркивалась в греческой астрономии, подтвердилась самим развитием современной науки. Однако использование эксперимента как критерия истины не только подтвердило, но и значительно расширило продуктивность этого метода, что привело к получению результатов совершенно иного масштаба. Заслугой современной науки является создание гипотетико-дедуктивного метода (объяснительной индукции), т. е. объяснения в форме математической гипотезы, из которой могут быть дедуцированы наблюдаемые факты.

Открытие Коперника никогда не нашло бы единодушной поддержки ученых всего мира, если бы не было дополнено исследованиями Иоганна Кеплера и в конечном счете включено в математическую теорию, которую представляет собой труд Иссака Ньютона. Как уже говорилось, Кеплер, мистически настроенный математик, сделавший набросок подробного математического плана для доказательства гармонии Вселенной, отказался от своей первоначальной гипотезы, когда в ходе наблюдений были установлены совершенно иные движения планет. Таким образом он стал первооткрывателем трех знаменитых законов, согласно которым орбиты планет являются не круговыми,

а эллипсоидными. За открытиями Кеплера последовал величайший труд всего этого периода — ньютоновский закон притяжения масс, известный под названием гравитационного закона, который имеет форму довольно простого математического уравнения. Он представляет собой гипотезу, которая не может быть непосредственно верифицирована — ее правильность, напротив, может быть доказана лишь опосредованно. Из нее могут быть получены, как показал Ньютон, все результаты наблюдений, на основе которых были открыты законы Кеплера. Закон свободного падения Галилея также может быть установлен на основе закона Ньютона. То же относится и к таким фактам, полученным в результате наблюдения, как появление приливов и отливов, связь которых с обращением Луны вокруг Земли уже давно была известна, и др.

Сам Ньютон, считает Рейхенбах, осознавал, что подтверждение его закона зависит от верификации выводов, полученных из него. Однако Ньютон не был удовлетворен блестящими успехами математической дедукции. Он хотел бы получить количественное, эмпирическое доказательство и проверял для этого выводы из закона, наблюдая за Луной, месячное обращение которой вокруг Земли демонстрирует приложение закона гравитации. Он был разочарован, установив, что результаты этих наблюдений не согласуются с его наблюдениями. Вместо построения теории, настолько же математически стройной, насколько соответствующей фактам, Ньютон отложил свой манускрипт на долгие годы. Примерно через 20 лет после того, как французская экспедиция сделала новые измерения периметра Земли, Ньютон обнаружил, что числа, на которых были основаны его расчеты, неправильны, а откорректированные числа согласовываются с его теоретическими результатами. Только тогда он впервые опубликовал свой закон гравитации.

Историю ньютоновского открытия Рейхенбах расценивает как прекрасную иллюстрацию современного научного метода. Исходный пункт этого метода — материал наблюдений, но наблюдения сами по себе еще не исчерпывают всего метода. Они дополняются математическим объяснением, которое выходит далеко за пределы наблюдаемого. Тогда это объяснение подчиняется математическим выводам, которые делают различные их следствия отчетливыми. Прежде всего данные следствия проверяются наблюдениями, которые должны или подтверждать, или опровергать их, поэтому подобный метод является эмпирическим. Ньютон имел мужество отважиться на абстрактное объяснение, однако не доверял ему полностью до тех пор, пока наблюдения не подтвердили его. В своем дальнейшем развитии, которое происходило в течение более 200 лет, теория Ньютона находила все новые и новые подтверждения. В конце концов французский математик Лаверьё (и одновременно английский астроном Адамс) предсказали на основе расчетов, какая новая планета ответственна за известные помехи, замеченные на других орбитах. Немецкий астроном Галле, направив телескоп на точку ночного неба, указанную в расчетах Лаверьё, увидел маленькое пятнышко, положение которого каждую ночь

немного менялось, — так была открыта планета Нептун. Таким образом, используя математический метод, современная физика получила возможность предсказывать явления. По мнению Рейхенбаха, говоря об эмпирической науке, не следует забывать, что наблюдение и эксперимент лишь потому смогли основать современную науку, что они опираются на математическую дедукцию. Математическая дедукция применительно к наблюдению является инструментом, который сделал возможным успех современной науки. Ньютоновская физика отличается от представления индуктивной науки, развитого Ф. Бэконом, тем, что представляет физические законы в форме математических уравнений. Утверждение Галилея, что книга природы написана языком математики, подтвердилось в последующие столетия в такой степени, в какой сам Галилей не мог представить. Математические законы не только являются инструментом упорядочения, но и предоставляют физикам возможность предсказывать наблюдения, т. е. видеть перспективу.

«Астрономия с ее различными представлениями планетарной системы дает такого рода пример (диалектического закона): птолемеевская теория геоцентрической вселенной, в которой земля находится в центре универсума, была заменена коперниканской системой гелиоцентрической вселенной, в которой Земля движется, а Солнце покоится в центре. Эти обе противоположные системы сегодня преодолены и «синтезированы» в релятивистском представлении Эйнштейна. После этого как геоцентрическая, так и гелиоцентрическая системы могут рассматриваться в качестве ее допустимых интерпретаций, если отказаться от утверждения об абсолютном движении»<sup>7</sup>.

Лакатос, критикуя позитивистскую модель науки применительно к коперниканской революции, указывает, что для позитивистов предметом оценки являются отдельные гипотезы. Коперниканская революция является гипотезой, что Земля вращается вокруг Солнца, а не наоборот, или, точнее, что системой отсчета является не Земля, а сфера неподвижных звезд. Таким образом, с точки зрения позитивистов, превосходство коперниканской теории непосредственно базируется на эмпирическом основании. Однако индуктивисты и конвенционалисты в рамках позитивистской позиции предлагают различные интерпретации этого историко-научного события.

С точки зрения строгих индуктивистов, одна теория лучше другой, если основана на фактах (в противном случае обе теории являются чисто спекулятивными и не имеют большой ценности). Лакатос возражает, что Копернику было бы трудно основывать гелиоцентризм на фактах. Сегодня все чаще признается, что и птолемеевская, и коперниканская теории противоречили известным в то время результатам наблюдения. «Птолемеевская теория не была очень точной. Так, вычисленные местоположения Марса отличались от действительных иногда почти на 5°. Однако и предсказания положения планет Коперником были почти такими же неточными»<sup>8</sup>.

<sup>7</sup> *Reichenbach H. Der Aufstieg der wissenschaftlichen Philosophie.* Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1968 (английское издание — 1951), S. 24, 32, 34, 35, 41–42, 83.

<sup>8</sup> *Gingerich O. «The Copernican Celebration», Science Year, 1973, p. 266f.*

Если научная революция — это открытие новых данных и формулирование обобщений, то коперниканской научной революции не существовало вовсе. По утверждению вероятностных индуктивистов, одна теория лучше другой, если является более научной относительно всех доступных в данный момент данных. Однако, подчеркивает Лакатос, предпринималось несколько попыток вычислить вероятность обеих теорий с учетом имевшихся в XVI в. данных и доказать, что коперниканская теория была более вероятной, но эти попытки оказались тщетными. Поэтому если научная революция заключается в том, что предлагаемая новая теория более вероятна исходя из имеющихся данных, то коперниканской научной революции также не существовало.

С точки зрения конвенционализма теории признаются по соглашению. Действительно, при желании факты можно втиснуть в любые теоретические рамки. Существует мнение, что одна теория лучше другой, если она проще, систематичнее и «экономнее». Поразительная простота коперниканской теории небесных сфер признается как неопровержимый факт в истории науки от Галилея до Дюгема, из чего делается вывод о ее истинности. По мнению Лакатоса, простота коперниканской теории была в не меньшей степени легендой, чем ее большая точность, и эту легенду поддерживали современные историки. Новое строение мироздания, описанное Коперником, хотя и вызывало ощущение простоты, в отдельных деталях было весьма сложным, немногим проще птолемеевской системы мира. Следовательно, и в этом случае, если понимать научную революцию как преобладание простоты в области наблюдений, коперниканская революция не может быть признана научной.

Неопозитивисты не считали работы Птолемея, Коперника и Галилея в строгом смысле научными. Даже Галилей, один из признанных творцов новой экспериментальной и математизированной науки, во многом является представителем лишь преднауки, поскольку подлинная наука начинается с Ньютона, создавшего гипотетико-дедуктивный метод и образец построения действительно научной теории.

## 2. Интерпретация учения Галилея в попперианской методологии науки

Фальсификационистская теория науки, представителем которой был Карл Поппер, предлагает два варианта обоснования превосходства коперниканской теории небесных движений:

(1) Теория Птолемея была в принципе непроверяемой (т. е. псевдонаучной). Коперниканская революция представляла собой переход от непроверяемой спекуляции к науке, которая может быть опровергнута. Эвристика Птолемея была в сущности *ad hoc* эвристикой: она могла объяснить любой новый факт за счет дальнейшего расширения лабиринта эпициклов и аквантов — коперниканская теория, напротив, является эмпирически проверяемой (как минимум в принципе).

(2) Обе эти теории долгое время были в одинаковой степени опровержимыми, несовместимыми, но непровергнутыми. Однако в конечном счете был проведен *решающий эксперимент*, который опроверг теорию Птолемея и утвердил («оправдал») теорию Коперника.

Карл Поппер следующим образом выражает эту мысль: «Система Птолемея была еще не опровергнута, когда Коперник выдвинул свою систему ... В подобных случаях важнейшее значение приобретает решающий эксперимент (*experimenta crucis*)»<sup>9</sup>.

Поппер считает, что открытие Галилеем в 1616 г. фаз Венеры решило дело в пользу Коперника. Возможно, в этом и заключалась победа коперниканской теории над системой Птолемея. По мнению Поппера, это была решающая проверка, по мнению же Лакатоса, система Птолемея, с точки зрения Коперника, уже давно была опровергнута и перегружена аномалиями.

Поппер фактически конструирует собственную историческую версию, которая должна соответствовать его концепции. Однако если руководствоваться критериями фальсификационистской теории, коперниканская теория одержала победу над птолемеевской концепцией, а также над широко известной в 1616 г. теорией Тихо де Браге, впервые в 1838 г. — открытие Бесселем звездного параллакса и было решающим экспериментом для обеих теорий, что является абсурдом. Нельзя, конечно, придерживаться того мнения, что гелиоцентрическая астрономия была рационально обоснована наукой лишь после 1838 г. Открытие параллакса неподвижных звезд играло весьма незначительную роль, оно было сделано через 2 года после изъятия церковью из индекса произведения Коперника под тем предлогом, что коперниканская теория уже доказана. Действительный ход истории науки был бы чрезмерно неразумным, считает Лакатос, если бы наука руководствовалась фальсификационистской теорией.

По Попперу главная цель понимания истории — гипотетическая реконструкция исторической проблемной ситуации. В качестве иллюстрации он приводит галилееву теорию приливов и отливов, которая объясняет их как следствие ускорений, являющихся, в свою очередь, следствием движения Земли. Если Земля вращается вокруг Солнца равномерно, тогда скорость какой-либо точки на ее поверхности, обращенной в сторону, противоположную Солнцу, больше, чем скорость той же точки, если она находится на стороне, обращенной к Солнцу. Эти изменения скорости означают, что должны наблюдаться периодические замедления и ускорения. Однако периодические замедления и ускорения движения какого-либо водного бассейна приводят, говорит Галилей, к явлениям, подобным приливам и отливам. Далее Поппер утверждает, что теория Галилея является приемлемой, но в такой форме неверной. Кроме постоянного ротационного ускорения, называемого центростремительным, которое также возникает лишь в том случае, когда скорость земной орбиты равна нулю, не проявляется никакого другого ускорения, особенно периодического.

Поппер утверждает далее: можно сказать, что галилеева кинематическая теория противоречит так называемому принципу относительности Галилея. Однако такая критика была бы теоретически и

---

<sup>9</sup> Popper K. Conjectures and Refutations. The Growth of Scientific Knowledge. L., Routledge and Kegan Paul, 1963, p. 246.

исторически ошибочной, поскольку этот принцип не связан с ротационным движением. Галилеева физическая интуиция, что ротация Земли не имеет релятивистски-механических следствий, была верной. А поскольку эти следствия (гироскопическое движение, маятник Фуко и др.) не устанавливали причину возникновения приливов и отливов, то по крайней мере сила Кориолиса оказывала какое-то воздействие на них. С ее помощью мы сохраняем периодические кинематические ускорения, учитывая искажение земной орбиты. Поппер при этом спрашивает: какую же проблему обсуждал Галилей?

Этой проблемой было возникновение приливов и отливов, и проблема была не такой простой, как казалось на первый взгляд. В данном случае надо было объяснить возникновение приливов и отливов, но в специфической роли «пробного камня коперниканской теории». Ясно, что Галилей не был непосредственно увлечен решением этой проблемы. Существовала совершенно иная проблема, породившая проблему приливов и отливов, — движение Земли, истинность или ложность коперниканской теории. Галилей надеялся, что теория приливов и отливов станет решающим аргументом в пользу коперниканского утверждения о движении Земли, но этого, по Попперу, еще недостаточно для понимания галилеевой проблемной ситуации.

Галилей как космолог и теоретик прежде всего был восхищен необыкновенной смелостью и простотой коперниканской основополагающей мысли о том, что Земля, как, впрочем, и другие планеты, по отношению к Солнцу в известном смысле играет роль Луны. Объяснительная сила этой смелой мысли была огромной, когда Галилей открыл с помощью телескопа «луны» Юпитера и воспринял их как миниатюрную модель коперниканской солнечной системы. Так он нашел эмпирическое подтверждение смелой и почти априорной идеи Коперника. Открыв фазы Венеры, Галилей смог также проверить предсказание Коперника о том, что внутренние фазы планет должны соответствовать фазам Луны.

Коперниканская теория, продолжает Поппер, была в сущности геометрически-космологической моделью, сконструированной геометрическими (и кинематическими) средствами. Однако Галилей был физиком и знал, что в конечном счете речь идет о физико-механической модели, важными элементами которой являются в первую очередь закон инерции и закон сохранения ротационного кругового движения.

Галилей, продолжает Поппер, пытается с помощью этих двух законов (которые он рассматривает как один закон) разрешить возникшую проблемную ситуацию, невзирая на осознаваемую им отрывочность своих физических познаний. Методически он был абсолютно прав: пытаясь использовать все возможности своих ошибочных теорий, можно чему-то научиться на своих ошибках, подчеркивает Поппер. Это объясняет, почему Галилей, знакомый с работами Кеплера, был непоколебимым сторонником гипотезы кругового движения. И в этом он был прав.

Распространено мнение о том, что Галилей неоправданно недооценил трудности коперниканской теории и должен был бы, кроме того, акцептировать законы Кеплера. Но это, считает Поппер, ошибки исторического понимания, ошибки анализа проблемной ситуации третьего (по Попперу) мира<sup>10</sup>. Галилей был совершенно прав, принимая смелые упрощения. Кеплеровы эллипсы также были упрощением; только Кеплеру повезло в том, что Ньютон несколько позже использовал его упрощение в качестве пробного камня своей теории взаимодействия двух тел и тем самым объяснил его.

Почему же, однако, спрашивает Поппер, Галилей отверг в своей теории приливов и отливов влияние Луны? И сам же отвечает: во-первых, Галилей был противником астрологии (в том числе астрологии Кеплера), которая воспринимала планеты в качестве богов; во-вторых, он работал с законом сохранения ротационного движения (еще не было понятия о динамике) и это, оказывается, исключало межпланетные влияния. Методически попытка объяснить приливы и отливы на этой узкой основе была правильной. Без этой попытки невозможно было бы узнать, что объяснительный базис был слишком узким и что должна быть использована идея Ньютона о силе притяжения и дальнего действия, которая носила почти астрологический характер и рассматривалась просветителями и просвещаемыми (да и самим Ньютоном) как оккультная.

Анализ проблемной ситуации Галилея способствует рациональному объяснению некоторых его действий, которые подвергались критике со стороны различных историков. Психологические основания такого объяснения (честолюбие, ревность, тяга к сенсации, желание спорить, одержимость, защита любимой идеи-фикс) в данном случае неуместны.

Таков метод ситуационного анализа Карла Поппера, или его ситуационная логика. «Это метод, который должен применяться по возможности везде в качестве основания исторического понимания и объяснения вместо психологических объяснений отношений третьего мира, которые по большей части являются логическими отношениями. Часто утверждают, что история научных открытий зависит от чисто технических изобретений новых инструментов (например, ре-

---

<sup>10</sup> Поппер в своей книге «Объективное познание» различает три мира: 1) мир физических предметов, 2) мир психических состояний, 3) мир теорий, аргументов, проблем, произведений искусства и т. п. (знание без познающего субъекта). Он говорит об относительной автономности этого третьего мира, который объективно существует, но может быть реализован с помощью второго мира, являющегося посредником между первым и третьим мирами. Поппер сравнивает следующие две возможные ситуации:

машины и субъективные знания разрушены, но книги и человеческая способность к обучению сохранены;

машины, субъективные знания и книги уничтожены, но способность к обучению, тем не менее, сохраняется.

Если в первом случае возрождение цивилизации возможно, то во втором наша цивилизация не сможет возродиться в течение долгих тысячелетий (Поппер К. Логика и рост научного знания. М.: Прогресс, 1983, с. 439–443).



волюция, причиной которой явилась подозрительная труба Галилея). В противоположность этому я верю, что история науки является в сущности историей идей. Увеличительные стекла были уже известны задолго до того, как у Галилея появилась идея использовать их в астрономической подозрительной трубе. Радиотелеграфия, как известно, является применением максвелловской теории, которое восходит к Генриху Герцу... Новая идея — новая теория — действует как новый орган восприятия, была ли она вызвана влиянием техники или нет»<sup>11</sup>.

### 3. Интерпретация учения Галилея в свете методологии научно-исследовательских программ И. Лакатоса

Лакатос считает, что и Птолемей, и Коперник исследовали программы, которые основаны по одной пифагорейско-платоновской программе. Основная идея этой протопрограммы такова: так как небесные тела совершенны, необходимо «спасти» все астрономические явления с помощью комбинации возможно меньшего числа равномерных круговых движений (или равномерных вращений сфер вокруг оси). Данный принцип является краеугольным камнем эвристики обеих программ.

Для этой протопрограммы, подчеркивает Лакатос, не имеет никакого значения, где находится центр Вселенной. В данном случае эвристика программы была первичной, а ее «твердое ядро» вторичным. Некоторые, например Пифагор, были убеждены, что центром является огненный шар, невидимый с обжитой стороны Земли; другие, например отдельные платоники, центром считали Солнце; третьи, например Эвдокс, — Землю. Геоцентрическая гипотеза превратилась в «застывшее» ядро впервые с развитием совершенной аристотелевской земной физики, которая различает естественное и насильственное движение, а также земную, или подлунную химию четырех элементов и чистую, или вечную небесную квинтэссенцию.

По Лакатосу, первоначальное геоцентрическое представление мира — это концентрические сферы вокруг Земли, одна из которых сфера неподвижных звезд, а остальные предназначаются для других небесных тел. Однако и тогда было ясно, что это ложная идеализированная модель, которая, как уже знал Эвдокс, годилась лишь для неподвижных звезд, но не для планет (или «скитальцев», как их называли из-за видимых с Земли блуждающих движений на небосводе). Известно, что Эвдокс сделал набросок системы вращающихся сфер для представления движения планет. Он использовал 26 таких сфер, чтобы объяснить остановки и обратное движение планет (или, лучше сказать, спасти идеализированную модель). Эта модель не предсказывала никаких новых фактов и не объясняла таких аномалий, как изменение освещенности планет.

---

<sup>11</sup> Popper K. R. Auf der Suche nach einer besseren Welt. Vorträge und Aufsätze aus dreißiger Jahren. München/Zürich: Piper 1984, S.185–188, 73.

Как отмечает Лакатос, с точки зрения задачи, стоящей перед системой вращающихся сфер, каждый отдельный шаг геостатической программы противоречил платоновской эвристике:

- эксцентр переместил Землю из центра круга; эпициклы Аполлония и Гиппарха означали, что действительные орбиты планет вокруг Земли не были круговыми;

- наконец, экванты Птолемея<sup>12</sup> приводили к тому, что и движение пустого центра является и не равномерным и не круговым. Относительно экванта оно было равномерным, но не круговым, а относительно центра вращающегося круга оно было круговым, но не равномерным. Вместо равномерного движения по кругу возникает квазиравномерное и квазикруговое движение.

Каждая планета помещается на небольшом равномерно вращающемся круге, так называемом эпицикле («окололежащем круге»), центр которого, в свою очередь, располагается на периферии большего круга, так называемого деферента, равномерно вращающегося вокруг центра, одновременно являющегося центром Земли (рис. 37). Для экванта больше не имеет силы постулированная равномерность скорости вращения круга относительно его геометрического центра, а только относительно так называемой точки экванта, т. е. фиктивной точки вблизи центра круга, точное местонахождение которой может быть подогнано под этот центр (рис. 38).

Применение эквантов, однако, по мнению Лакатоса, выходит за пределы платоновской эвристики. Поэтому неудивительно, что уже на ранней стадии развития астрономии Гераклит и Аристарх начали экспериментировать с частично или полностью гелиоцентрической системой. Коперник осознал эвристическую дегенерацию платоновской программы, произошедшую по инициативе Птолемея и его последователей, но не предложил полностью новой программы, а лишь вновь вызвал к жизни форму программы, предложенную Аристархом, твердое ядро которой заключалось в утверждении о том, что именно неподвижные звезды, а не Земля, составляют первичную систему отсчета для физики. Коперник не открыл новой эвристики, а попытался восстановить и обновить эвристику Платона. Он фиксировал неподвижные звезды, делая их действительно недвижимыми, и поэтому должен был передать их движение Земле. Однако в его системе Земля является всего лишь одной из планет. Коперник, таким образом, игнорирует экванты.

Лакатос выражает уверенность, что программа Коперника была теоретически прогрессивной. Она предсказывала новые факты, которые ранее не наблюдались, например фазы Венеры, а также звездный параллакс, правда, лишь качественно, поскольку Коперник не имел представления о размерах планетарной системы. Однако предсказание фаз Венеры было использовано впервые лишь в 1616 г. Галилеем. Коперниканская система была эвристически прогрессивной в рамках

<sup>12</sup> Точка экванта — точка равномерного движения. Обращение центра эпицикла кажется равномерным именно из этой точки. Окружность, описываемая вокруг этой точки, называется кругом экванта или просто эквантом.

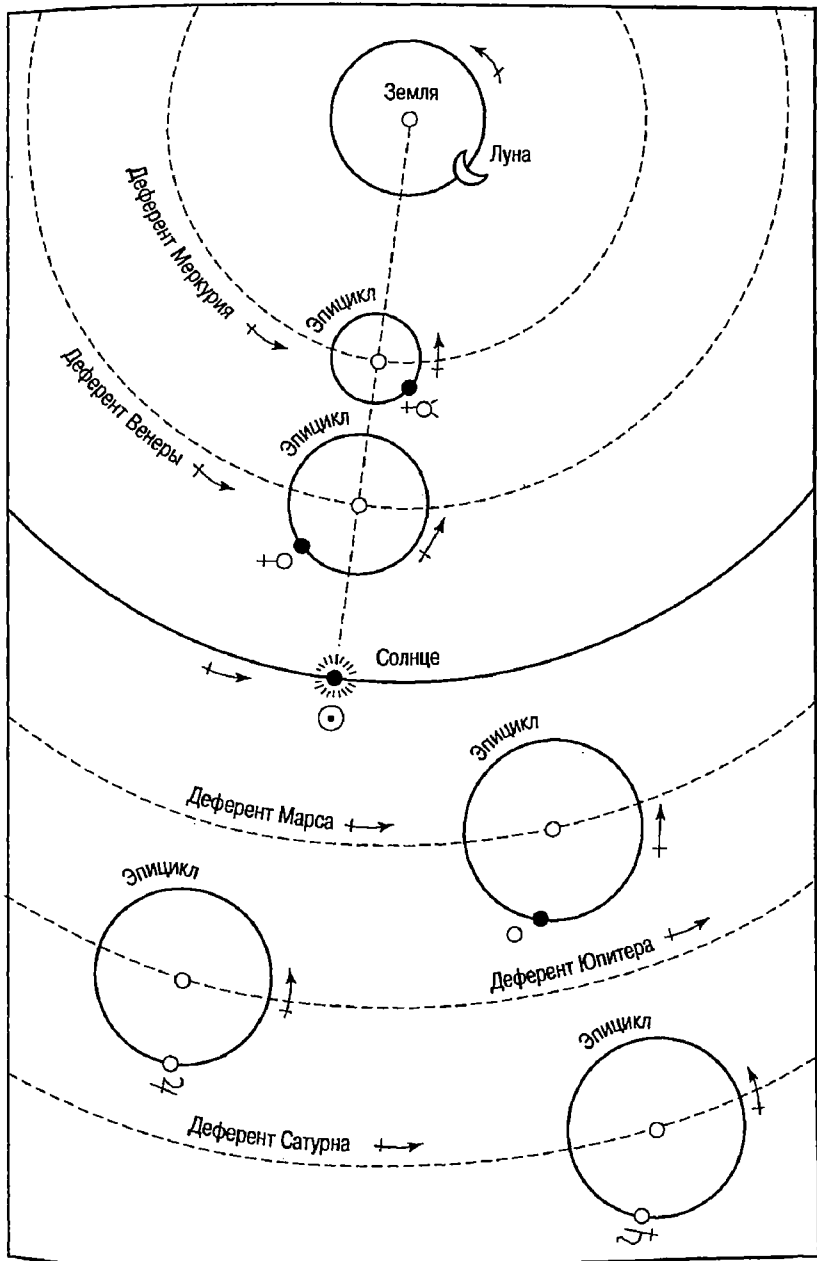


Рис. 37. Система мира Птолемея

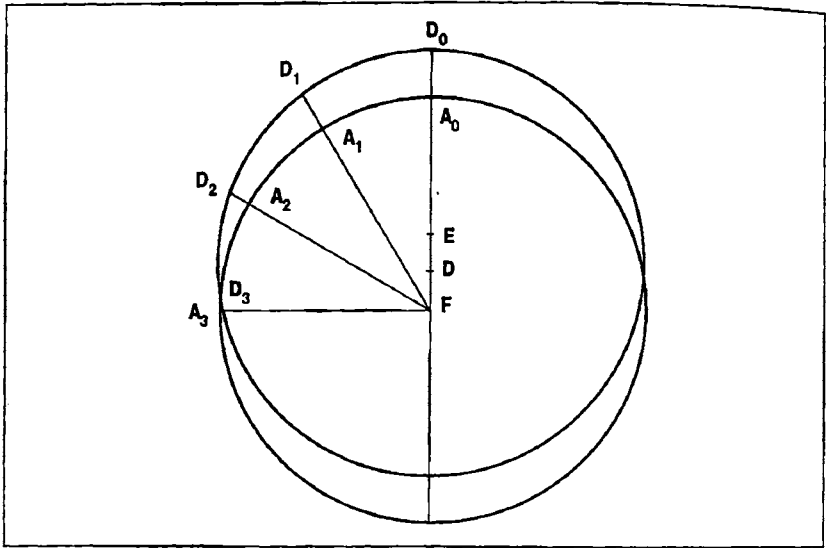


Рис. 38. Введение экванта для планет

«Пусть вокруг точки экванта  $F$  описана окружность по которой в прямом направлении равномерно движется точка  $A_0$ , последовательно занимая положения  $A_1, A_2, A_3$ . Им соответствуют точки на дифференте  $D_0, D_1, D_2, D_3 \dots$  по которому, однако, центр эпицикла движётся неравномерно. Это физическое неравенство усиливается оптическим неравенством, связанным с тем, что Земля  $E$  не совпадает ни с  $F$ , ни с центром дифферента  $D_0$ <sup>13</sup>.

платоновской традиции и имела возможность стать теоретически прогрессивной, но до 1616 г. не была подтверждена ни одним новым фактом. Коперниканская революция лишь в 1616 г. превратилась в действительную научную революцию и вскоре после этого сдала свои позиции в пользу новой физики, ориентированной на динамику. Однако коперниканская система даже в высокоразвитой форме не была свободна от аномалий, важнейшая из которых — невозможность объяснения движения комет с помощью круговых движений. Это был главный аргумент Тихо де Браге против учения Коперника, и Галилей приложил немалые усилия, чтобы найти контрдоводы.

С точки зрения методологии научно-исследовательских программ вопреки распространенному мнению коперниканская программа не была развита Кеплером, Галилеем и Ньютоном. Напротив, они отказались от нее, перенеся внимание с твердого ядра программы на ее эвристику. Следовательно, подчеркивает Лакатос, нельзя сказать, что «система мира Коперника перешла в ньютоновскую теорию гравитации», как утверждал Поппер<sup>14</sup>. Кеплер и Галилей имели объективные

<sup>13</sup> Бронштейн В.А. Клавдий Птолемей. М.: Наука, 1988, с. 116–117. (Рис. 37 и 38 взяты из этой же книги, с. 112.)

<sup>14</sup> Popper K.R. Conjectures and Refutation. The Growth of Scientific Knowledge. L.: Routledge and Kegan Paul, 1963.

основания для принятия гелиоцентрической гипотезы, поскольку основополагающая модель Коперника (да, собственно, и Аристарха) имела дополнительную предсказательную силу по сравнению с моделью Птолемея. Однако, по Лакатосу, Галилей и Кеплер отклонили коперниканскую программу, приняв только ее аристарховское твердое ядро. Коперник не произвел никакой революции, он лишь невольно способствовал возникновению антиптолемеевской программы, которая привела от Аристотеля обратно к Аристарху и одновременно подтолкнула к новой динамике.

Лакатос резюмирует свой анализ внутринаучной (методологической) истории науки следующим образом: «Наш анализ является чисто внутринаучным анализом, в котором нет места для духа эпохи Ренессанса, который так согревает душу Куна, ни места для призывов к реформации или против нее, для влияния людей церкви, а также мнимого или действительного возникновения капитализма в XVI в. или же потребностей навигации, которые с такой любовью описал Бернал. Все развитие представляется внутринаучно: его передовая часть могла бы появиться в любой момент между Аристотелем и Птолемеем, если бы был хотя бы один гений подобный Копернику. Внешняя история науки является в этом случае не только второстепенной, но и нерелевантной. Конечно, система поддержки астрономии церковью сыграла определенную роль; однако ее поддержка ничего не привносит для нашего понимания коперниканской революции. Из этого следует, что при написании истории науки на первом месте стоит теория науки, а социология и психология на втором месте»<sup>15</sup>.

#### 4. Интерпретация методологии Галилея Фейерабендом

По Фейерабенду, коперниканская революция представляет собой пропагандистскую победу, а критика Галилеем повседневного опыта — метод контриндукции.

Обращаясь к анализу *противоиндуктивного теоретизирования* Галилея, он строит модель генезиса науки. В противоположность распространенному мнению, что учение Галилея одержало победу благодаря подтверждению на опыте теории Коперника, Фейерабенд доказывает, что при защите своих идей Галилей был вынужден вступать в противоречие с опытом и обоснованными предположениями, а теория Коперника была подтверждена в той же степени, что и теория Птолемея. Галилей победил потому, что использовал не латынь, а итальянский язык, метод диалога и разумные приемы убеждения. Коперниканская революция поэтому была скорее пропагандистской победой.

Новая идея движения и новый закон инерции противоречат обыденному опыту, однако после изменения понятийных компонентов

---

<sup>15</sup> Lakatos I. Die Methodologie der wissenschaftlichen Forschungsprogramme. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1978, S. 202–203.

этого опыта они были к нему приспособлены (по крайней мере, частично). Мотивом для их введения, по мнению Фейерабенда, была вера в истинность коперниканской системы в силу ее простоты и красоты. Способ введения этих идей Фейерабэнд называет анамнестическим, поскольку заранее предполагается, что речь идет о широко известных вещах, которые лишь временно были преданы забвению. Галилей, с точки зрения Фейерабенда, в своих «Диалогах» всего-навсего показал, что критика и изменение опыта приводит к устранению противоречия между теорией и опытом. Таким образом, не теория приспособлена к опыту, а наоборот, — опыт к теории. Эта задача — замена обыденного опыта — была осуществлена двояким путем: путем понятийной ревизии этого опыта и посредством изменения чувственных элементов опыта. Галилей много раз подчеркивал, что обыденный опыт, на котором построена теория Аристотеля, не может быть основанием для астрономических исследований. Наши органы чувств слишком слабы, чтобы открыть спутники Юпитера, звездную природу туманностей, небольшие пятна на Солнце, детали лунной поверхности, фазы Венеры и др. Несчетное количество звезд на небе навсегда скрыто для человеческого глаза.

Поэтому необходима трехсторонняя критика обыденного опыта: во-первых, он является недостаточно подробным, чтобы показать нам действительное строение мира; во-вторых, он обманывает нас в силу идиосинкразии чувств, которые возводят на пути восприятия собственные препятствия; в-третьих, он отнюдь не является «чистым опытом», поскольку не свободен от теоретических предположений, которые сами требуют исследования.

Телескоп Галилея — высшее чувство, которое «приближает небеса» и «светлее любого обычного факела», — и его идея, что подзорная труба показывает мир лучше, чем невооруженный глаз, были для его противников (а они вовсе не были так глупы, как нам сегодня кажется) настолько же надежными, насколько для нас надежным научным аргументом считаются НЛО. Телескоп Галилея был лучшим из современных, однако все еще неудобным инструментом, не имеющим крепления и с таким малым полем зрения, что один из современных Галилею писателей удивлялся не столько тому, что Галилей увидел с помощью телескопа «луны» Юпитера, сколько тому, что он увидел сам Юпитер. К этому следует добавить «небольшую световую корону» (ореол, иррадиацию) и то, что степень увеличения и внутренняя структура изображения полностью зависят от телескопа и от глаза наблюдателя. Требуются навык и множество теоретических допущений, чтобы выделить вклад источника восприятия в конечном счете воспринятую картинку и подготовить его для проверки.

Это, однако, означает, продолжает Фейерабэнд, что неаристотелевские космологии можно проверить лишь после того, как наблюдения и законы будут связаны между собой с помощью вспомогательных наук, описывающих сложные процессы, происходящие между рогом и предметом восприятия и еще более сложные процессы между роговой оболочкой глаза и мозгом. Чтобы проверить теорию Коперника,

необходимо было использовать достижения новой метеорологии, физиологической оптики, новой динамики и др. Наблюдения становятся релевантными лишь после описания этими науками процессов, происходящих между глазом и миром. Кроме того, должен быть подробно исследован язык, который используется при описании наблюдений. Таким образом, заключает Фейерабенд, проверка коперниканского учения предполагает совершенно новую картину мира с новым представлением о человеке и его познавательной способности. При этом контриндукция и плюрализм, по его мнению, применяются не в качестве нового метода, замещающего индукцию и фальсификацию, а лишь для обозначения их границ.

Для Фейерабенда и система Птолемея, и система Коперника основаны на вере, но в конце концов побеждают коперниканцы. Принятие Коперником, Кеплером и Галилеем гелиоцентрической системы и их победа не могут быть объяснены рационально — это было скорее делом вкуса, изменением образа мира или пропагандистской победой. Лакатос возражает Фейерабенду: если неразумно работать с теорией, преимущество которой еще не установлено, то тогда вообще вся история науки не может быть истолкована разумно. По Фейерабенду же, сопротивление Копернику в основном объяснялось трудностями согласования его представлений с интерпретацией Священного писания, предложенной церковью. Кардинал Белармин пишет в своем письме от 12 апреля 1615 г. отцу Фоскарине: «Если бы действительно существовало доказательство того, что Солнце находится в центре универсума, а Земля располагается на третьем небе и что не Солнце вращается вокруг Земли, а Земля вокруг Солнца, тогда мы были бы должны относиться с осторожностью при интерпретации произведений тех авторов, которые учат о противоположном. Однако, что касается меня самого, то я не верю в существование такого доказательства ...»<sup>16</sup>. Фейерабенд отмечает, что тогда не существовало доказательства коперниканской теории — более того, она противоречила имеющимся данным.

Имели место также и более философские соображения. Интересны, например, аргументы Франческо Сицци против открытия спутников Юпитера: «Кроме того, эти спутники Юпитера невидимы простому глазу и поэтому не могут оказывать какого-либо влияния на Землю, они являются, следовательно, бесполезными, а потому вообще не существуют»<sup>17</sup>. С точки зрения Фейерабенда, геоцентрическая гипотеза и аристотелевская теория науки идеально коррелируют друг с другом. Восприятие подтверждает теорию движения, из которой следует вывод о неподвижности Земли и которая, в свою очередь, является специальным случаем более обобщенного учения о движении, связанного также и с другими специальными случаями (местным движением, увеличением и уменьшением, качественным изменением,

<sup>16</sup> *De Santilliana*. The Crime of Galilei. Univ. of Chicago Press, 1965, p. 99.

<sup>17</sup> *Fahie J. J. Galilei, his Life and Work*. L., 1903. Reprint, Dubuque, Iowa, 1963, p. 103.

возникновением и уничтожением). В соответствии с этим общим учением движение, а в действительности и вообще любое изменение, состоит в переходе формы от причины (движение, изменение) на подвергающуюся воздействию тело, приходящее в состояние покоя, получив ту же самую форму, которая характеризовала причину в начале процесса. Также и восприятие является в соответствии с данной теорией процессом, в котором форма воспринимаемого предмета входит через медиум (лежащую между предметом и органом восприятия среду) в орган восприятия. Эта форма в органе восприятия является той же самой формой, что и в воспринимаемом предмете. Таким образом, воспринимающий в известном смысле принимает в себя качества воспринимаемого предмета. Аристотель по этому поводу замечает, что тот, кто видит, обладает также в определенном смысле и сам цветом<sup>18</sup>. Эта теория, по характеристике Фейерабенда, является развитой версией наивного реализма и не может достоверно объяснить, например, движение снаряда и свободно падающего тела.

В соответствии с данной теорией Земля находится в состоянии покоя, т. е. не вращается и не перемещается в пространстве — об этом свидетельствуют простые факты, в частности Птолемей приводит следующее доказательство неподвижности Земли.

Все тяжелые тела, состоящие из плотно прилегающих друг к другу частичек, движутся, согласно Птолемию, к центру Вселенной. Простейшие наблюдения показывают, что они падают вниз — так мы называем место у нас под ногами, — однако это направление означает движение к центру. Если бы Земля вместе с находящимися на ней телами обладала движением, то из-за своей огромной величины она должна была бы падать намного быстрее, чем эти тела, которые, отставая в своем падении, парили бы в воздухе, а Земля вследствие огромной скорости должна была бы вылететь за пределы Вселенной. Достаточно представить себе это, пишет он, чтобы понять, насколько смешным является подобное представление.

Эта теория запрещает также применение телескопа, микроскопа и других инструментов, поскольку они являются лишь помехой процессам, происходящим в медиуме, который ответственен за точную передачу форм. Используя инструменты, мы получаем формы, более не соответствующие воспринимаемому предмету, — так называемые иллюзии: в зеркале телескопа или в стакане гладкой цилиндрической формы можно наблюдать изображения, контуры которых искажены, детали расплывчаты и т. д. Поэтому, по мнению Фейерабенда, коперниканская революция привела не только к изменениям в астрономии. Она основана на реалистическом объяснении движения планет, т. е. на новой гипотезе о небесах и Земле, поэтому привлекала к этому объяснению физику, космологию, теорию познания, теологию, расчетные таблицы движения планет и философию.

Полемизируя с Лакатосом, Фейерабэнд подчеркивает, что невозможно «рационально объяснить» коперниканскую революцию, исходя лишь из теории планетных движений и представления, будто все

<sup>18</sup> Аристотель. О частях животных. 425b 24.



известные астрономы одинаково относились к Копернику, основываясь на определенных теоретико-познавательных принципах. Дело обстояло совершенно не так. Одни астрономы, например Тихо де Браге, выступали против Коперника, другие поддерживали его, имея на то, однако, различные основания. Эта смесь микропроцессов привела в астрономии к макропроцессу — победе коперниканства. Однако аристотелевская физика сохраняется почти до XVIII в. — и не благодаря рафинированной стратегии приспособления, а потому, что ее идеи все еще помогали исследованиям (в биологии — и до сегодняшнего дня). Сам Коперник приспособлял свои идеи к аристотелевской философии и пытался показать, что они являются следствием этой философии.

К противникам Аристотеля, отмечает далее Фейерабенд, во времена позднего средневековья и раннего модернизма относились и философы и практики. В XIV в. мореходы, художники, ремесленники пользовались почетом в обществе: мореходы открыли западноафриканское побережье, нашли лучшие пути на Восток, усилили власть испанских и португальских королей, откорректировали географические карты, опровергли античные географические представления; художники открыли законы центральной перспективы и откорректировали их, чтобы привести в соответствие геометрию и зрение человека; ремесленники обогатили знания о металлах и минералах, учение о травах — медицину. Очки были известны уже в XIII в., а подзорная труба, как уже говорилось, была изобретена голландским ремесленником, т. е. задолго до того как были поняты ее научные основы. К этим изобретениям существовавшие тогда университетские научные школы не имели отношения, и следствия этих изобретений, их значение для познания обсуждались почти без участия тогдашних ученых мужей. Принципы, методы, идеи первооткрывателей, изобретателей, мыслителей были отчасти интуитивными. Они не были особым образом описаны — представление о них можно было получить, проанализировав деятельность этих изобретателей. Случайно возникали и точные представления, которые критиковались, развивались и расширялись до целостной философии исследования. Это полностью исключало возможность авторитетов, которые также подробно изучались, но которым не принадлежало последнее слово — их суждению противопоставлялась апелляция к опыту. Этот второй и весьма важный источник познания является не опытом сторонников Аристотеля, который не заключает в себе никаких специальных знаний, не чувственным опытом скептиков и более поздних философов, который не содержит никаких предубеждений, а постоянно изменяющейся способностью специалиста (ремесленника, морехода, художника), возвращающегося к своей среде, развивать свои знания.

Фейерабенд подчеркивает, что Галилей не видел разницы между астрономией и физикой — двумя дисциплинами, которые в современной ему философии были полностью разделены. По Аристотелю, предоставленный самому себе предмет остается в состоянии покоя. По Ньютону же (и Галилею), он движется с постоянной прямолинейной скоростью. Ньютон устанавливает законы известных движений, которые выполняется только в идеальном медиуме, в вакууме.

Койре, считает Фейерабенд, по праву называет книгу Галилея полемической педагогической и пропагандистской книгой. Однако нужно признать, замечает он, что в то время такая пропаганда была необходима для прогресса познания. Результатом пропаганды Галилея

был переход от аристотелевской теории познания к теории познания классического эмпиризма. Необходимо, однако, отметить, пишет Фейерабенд, что асимметрия между опытом и теорией (опыт контролирует теорию, но сам теорией не контролируется) применительно к методологии Галилея не соответствует действительности. Коперниканская революция раз и навсегда отвергла такую асимметрию: изменению подлежат и теория, и опыт, и последний изменяется, чтобы освободить пространство теории, которая кажется более единообразной, более удовлетворительной, более рациональной, так что ее целое самым простым способом удивительно гармонирует с ее частями. Решающим является, во-первых, наличие у этой теории определенных преимуществ, ради которых она и принимается, и, во-вторых, установление гармоничных отношений между измененной теорией и измененным опытом<sup>19</sup>.

### 5. Соотношение науки и техники в методологии Галилея по А. Койре

Разработанный А. Койре историко-критический анализ генезиса концептуальных структур науки применяется им для исследования прежде всего генезиса науки, конкретнее — внутренней понятийной структуры экспериментальной математизированной физики Нового времени, основанной Галилеем и закончившейся работами Эйнштейна. Поэтому анализ трудов Галилея занимает в концепции Койре особое место.

В физике Нового времени, подчеркивает Койре, принцип инерции, или равномерного прямолинейного движения, считается основополагающим. Этот принцип весьма прост: предоставленное самому себе тело находится в состоянии покоя или движения до тех пор, пока к нему не будет приложена внешняя сила. Иначе говоря, покоящееся тело будет оставаться вечно в состоянии покоя, если не будет приведено в движение, а движущееся тело вечно продолжает равномерно перемещаться по прямолинейной траектории, пока ему не помешает внешняя сила. Тем не менее движение и покой должны быть различными и абсолютно противоположными состояниями. При этом, как известно, наука Нового времени рассматривает движение как простое геометрическое перемещение от одного пункта к другому.

Чтобы принцип инерции проявился наиболее явно, необходимо наличие трех предпосылок:

- возможность изолировать тело от его физического окружения;
- представление пространства, которое может быть приравнено к гомогенному, бесконечно продолжающемуся континууму евклидовой геометрии;

---

<sup>19</sup> *Feyerabend P. Der Wissenschaftstheoretische Realismus und die Autorität der Wissenschaften. Ausgewählte Schriften. Bd. 1. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1978; Feyerabend P. Probleme des Empirismus: Schriften zur Theorie der Erklärung d. Quantentheorie u.d. Wissenschaftsgeschichte. Ausgewählte Schriften. Bd 2. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1981.*

представление движения и покоя, рассматривающее их в качестве состояний и помещающее их на один и тот же уровень онтологического бытия.

Нет ничего удивительного, пишет Койре, что эти представления показались современникам Галилея не только неприемлемыми, но и весьма непонятными. Противники Галилея, исходящие из аристотелевских представлений, считали понятие движения как относительное, постоянное и материальное состояние настолько же абсурдным и противоречивым, насколько сегодня считаются абсурдными и противоречивыми знаменитые субстанциальные формы средневековых схоластов.

Аристотелевское представление, из которого они исходили, включало в себя:

- концепцию естественных мест, естественного и насильственного движения;

- понятие абсолютного покоя, согласно которому движение как процесс, поток, становление неизбежно и без каких-либо особых оснований для движения придет в состояние покоя, являющееся целью этого движения, просто потому, что Земля покоится в центре Вселенной;

- необходимость двигателя для любого движения, которое представляет собой изменение — либо самоизменение, либо изменение в связи с чем-то другим;

- резкое разграничение и даже противопоставление преходящего и изменчивого движения земных, подлунных тел и постоянное, равномерное и вечное движение небесных сфер.

Следовательно, любое движение соответствует определенному беспорядку, помехе в мировом равновесии и является либо непосредственным результатом насилия над сущим или реакцией на такое насилие, т. е. попыткой в противовес насилию снова обрести покой в своем «естественном месте». То, что обозначается у Аристотеля как естественное движение, отмечает Койре, и является как раз этим возвращением к установленному в природе порядку. При этом Аристотель объясняет мнимое безмоторное движение метательного снаряда реакцией среды-посредника, т. е. воздуха или воды. Для него вакуум — это нонсенс, поскольку в нем (подобно пространству евклидовой геометрии) отсутствует обозначение места или направления. По Аристотелю, физик исследует действительность, а геометр размышляет об абстракциях, поэтому нет ничего опаснее, чем смешивать геометрию и физику и применять чисто геометрический метод для изучения природы. Основу аристотелевской физики составляет чувственное восприятие, поэтому она ни в коей степени не является строго математической и отрицает саму возможность математической физики, поскольку:

- математические понятия не согласуются с данными чувственного опыта;

- математика не в состоянии объяснять качество и дедуцировать движение (в мире абстрактных фигур и цифр нет места ни качеству, ни движению).

Анализируя далее аристотелевскую физику, Койре подчеркивает, что Аристотель рассматривает местное движение как *процесс* перемещения, противоположный покою, который понимается как конечная цель всякого движения и тем самым как *состояние*. Кроме того, Аристотель исключает не только правомерность, но и саму возможность отождествления его тщательно организованного и конечного Космоса с геометрическим пространством и в еще меньшей степени возможность изолирования тела от его физического и космического окружения. Из этого уже следует, что движение, которое представляет собой не *состояние*, а *процесс изменения*, происходит не спонтанно или автоматически, а в силу постоянно действующей причины или под влиянием постоянно действующего двигателя. Из этого, в свою очередь, естественно следует, что постулируемое с помощью принципа инерции движение само по себе противоречиво и полностью невозможно.

Следовательно, продолжает Койре, в царстве чисел действительно нет места качеству, поэтому Галилей вынужден отбросить пестрый, качественный мир чувственных восприятий Декарта и заменить его бесцветным, абстрактным миром Архимеда. По утверждению Галилея, природа написана геометрическими знаками, и точно так же, как физика его учителя Архимеда была геометрией покоя, физика Галилея является геометрией движения. Согласно новой физике, тело, однажды пришедшее в движение, навечно сохраняет его направление и скорость, пока не подвергнется воздействию внешней силы. Другими словами, это тело, прямолинейно движущееся в бесконечном, пустом пространстве, является не действительным телом, находящимся в действительном пространстве, а математическим телом, которое перемещается в математическом пространстве.

Таким образом, как видно из проведенного А. Койре концептуального анализа, физика Галилея и предшествующая ей физика предлагают две различных картины мира, построенные на основе совершенно разных принципов, что выразилось не только в онтологических представлениях, но и в иной внутренней понятийной структуре физической теории. Новая наука заменила расплывчатые и полукачественные понятия аристотелевской физики системой жестких и строго количественных понятий. Решающую роль, по Койре, в становлении новой математической экспериментальной физики сыграла философия, поэтому он специально рассматривает *роль философской рефлексии* во внутреннем генезисе науки.

В вопросе соотношения философии и науки, традиционном для философии науки, Койре исходит из резкой критики любой формы позитивизма, утверждая, что:

- научная мысль никогда не была отделена от философской; великие научные революции всегда были обусловлены изменениями философских концепций;
- научная мысль всегда развивается не в вакууме, а в рамках идей и фундаментальных принципов, принадлежащих к сфере философии.

Многие исследователи (особенно позитивисты) в первую очередь анализируют борьбу Галилея против авторитетов, прежде всего против Аристотеля, т. е. против научной и философской традиции, которая была освящена церковью и которая составляла основу обучения в университетах. При этом особое значение придается важной роли, которую играют в новой науке наблюдение и опыт. Естественно, отмечает Койре, наблюдение и эксперимент имеют большое значение, и в работах Галилея можно найти многочисленные ссылки на них и иронические высказывания в адрес тех, кто не доверяет своим глазам, потому что увиденное противоречит каноническому учению. Действительно, Галилей нанес удар общепринятой в то время астрономии и космологии, построив телескоп и, наблюдая через него Луну и другие планеты, открыв спутники Юпитера. Однако спонтанное наблюдение и рассудочный опыт все же не играли, с точки зрения Койре, той решающей роли в становлении и обосновании новой науки, которую им зачастую приписывают. Напротив, они были по-мехой, поскольку основывались на аристотелевской физике, гораздо более соответствующей здравому смыслу, чем рассуждения Галилея.

Не спонтанный, непосредственный опыт, а точно планируемый эксперимент сыграл значительную познавательную роль в формировании науки Нового времени. Экспериментирование же является средством методически задавать природе вопросы, непременное условие которого — использование математического языка для того, чтобы ответы были понятными и допускали возможность интерпретации. В частности, Галилей использовал геометрические фигуры. Но выбор языка науки, подчеркивает Койре, не определяется опытом, а восходит к иному философскому источнику.

Анализируя философские корни учения Галилея, Койре выделяет три ступени (эпохи), которым соответствуют различные типы мышления:

- аристотелевская физика, физика импетуса (импульса), возникшая в эпоху античности и развитая в XIV в. парижскими номиналистами;
- современная математическая физика Архимеда или Галилея.

По мнению Койре, эта последняя ступень ни в коей мере не была порождением парижских предшественников, поскольку физика импетуса не поддается математической обработке и не способствует развитию физики; истинным прородителем физики Нового времени является не Николай Буридан или Николай из Орезма, а Архимед. А чтобы построить математическую физику, следуя архимедовой статике, нужно было полностью отбросить представление об импетусе и развить новое оригинальное понятие движения, чему мы и обязаны Галилею, который осуществил скорее важную методологическую работу, чем научную работу в современном смысле слова. Такой выход в сферу философско-методологической рефлексии был необходим, поскольку решение астрономических проблем зависело от обоснования новой физики, и прежде всего от ответа на философский вопрос о роли математики в науке о природе.

То, что создал Галилей, — это математическая философия природы, или геометрическая математизация природы, т. е. замещение конкретного пространства догалилеевской физики абстрактным и однородным пространством евклидовой геометрии. Наука Нового времени стремится объяснить все явления природы на основе чисел, фигур и движения, поскольку сама природа основана на законах математики. Галилей смело попытался впервые заменить действительный мир каждодневного опыта представлениями геометрии и объяснить действительное посредством невозможного, поскольку в природе не существует геометрических фигур. По мнению Койре, Галилей, его ученики и современники сделали ясный выбор между двумя различными философскими школами — аристотелизмом и платонизмом, по-разному оценивающими математику как науку и ее роль для обоснования естествознания.

По убеждению последователей Аристотеля, физику нельзя рассматривать как прикладную геометрию, поскольку математика — это вспомогательная наука, имеющая дело с абстракциями, а физика — реальная наука, основанная на опыте и чувственном восприятии. Последователи Платона, напротив, отводили математике приоритетное место в исследовании природных вещей. Именно как возвращение к Платону, подчеркивает Койре, как победа Платона над Аристотелем воспринимали Галилей, его современники и ученики науку и философию природы. Галилей, вероятно, первым поверил в реализацию математических форм в окружающем мире: все существующее в этом мире подчинено геометрическим формам, все движения и формы (не только регулярные — возможно, вообще не имеющие места в природе, но и нерегулярные, являющиеся также геометрическими и точными, хотя и более сложными) подчинены математическим законам<sup>20</sup>.

Важное место в исследованиях генезиса науки Койре уделяет проблеме соотношения науки и техники, в особенности анализируя роль технически организованного и математизированного эксперимента в науке Нового времени. Критикуя довольно распространенную точку зрения, что наука Нового времени является лишь продуктом ремесленников или инженеров, он утверждает, что порожденная Галилеем и Декартом наука — плод глубокой теоретической работы и все, что они построили, — это лишь *мыслительные* конструкции. Галилей и Декарт никогда не были ремесленниками или инженерами и ничего не создали, кроме мыслительных конструкций. Не Галилей учился у ремесленников на венецианских верфях, а ремесленники научились многому у Галилея, который создал первые действительно точные научные инструменты — телескоп и маятник, бывшие результатом теории. При создании телескопа он не просто усовершенствовал голландскую подзорную трубу, а исходил из оптической теории, стремясь сделать наблюдаемым невидимое, и математического расчета,

---

<sup>20</sup> См.: Koyre A. Galilei. Die Anfänge der Neuzeitlichen Wissenschaft. Berlin: Verlag Klaus Wagenbach, 1988.

стремясь достичь точности в наблюдениях и измерениях. Измерительные инструменты его предшественников были по сравнению с его инструментами ремесленными орудиями. Новая наука заменила расплывчатые и качественные понятия аристотелевской физики системой твердых и строго количественных понятий. Галилей заменил обыкновенный опыт основанным на математике и технически организованным экспериментом. Наука Декарта и Галилея имела огромное значение для техников и инженеров: приблизительность в создании различных технических сооружений и машин была заменена точностью и расчетом, характерными для новой науки, созданной теоретиками и философами. Для Койре создание научных инструментов также относится к внутренней истории науки, так как они являются результатом не столько практического ремесла, сколько точных математических расчетов. Таким образом, казалось бы внешние для науки влияния преломляются им в специфически внутренние моменты генезиса науки <sup>21</sup>.

## 6. Коперниканская революция и роль Галилея в модели научных революций Т. Куна

Свою концепцию развития науки в виде модели научных революций Томас Кун разработал на основе анализа и обобщения истории коперниканской революции. Его книга «Коперниканская революция. Планетарная астрономия в развитии западной мысли» <sup>22</sup> вышла в 1957 г., т. е. значительно раньше, чем книга «Структура научных революций», сделавшая его знаменитым не только в узком кругу специалистов <sup>23</sup>. В этой первой своей книге Т. Кун исследовал огромный конкретный историко-научный материал, но уже с вполне определенных методологических позиций, что позволило ему впоследствии стать одним из ведущих представителей так называемой историко-методологической линии в философии науки. Фактически уже на этом конкретном материале он формулирует концепцию именно *развития* науки. По мнению Куна, теория Коперника во многом представляет собой типичную научную теорию, поэтому ее история может наглядно проиллюстрировать процессы, влияющие на возникновение научных идей и смену теорий. Однако сила ненаучного внешнего влияния делает теорию Коперника не совсем типичной, так как в истории науки насчитывается не так много научных теорий, оказавших подобное влияние, — это, например, эволюционная теория Дарвина в XIX в., а в XX в. — теория относительности Эйнштейна и психоанализ Фрейда, которые привели к дальнейшим радикальным изменениям западного мышления.

<sup>21</sup> Койре А. Указ. соч., S. 29, 89, 93–94.

<sup>22</sup> Kuhn T. The Copernican Revolution. Planetary Astronomy in the Development of Western Thought. Harvard University Press, 1957.

<sup>23</sup> Кун Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975.

Кун прежде всего подчеркивает, что хотя ядром коперниканской революции, которая являлась идейной революцией, был процесс преобразования математической астрономии, происходили концептуальные изменения и в космологии, физике, философии и религии. На этом примере хорошо видно, как на основе изменений представлений во многих отдельных областях формируется новая мыслительная конструкция. Сегодня при желании узнать нечто новое о строении Вселенной вполне естественно обратиться к ученым — астрономам и физикам, располагающим многочисленными точными данными о земных и небесных явлениях, т. е. наши сегодняшние обыденные популярные представления о Космосе самым тесным образом связаны с результатами точных научных наблюдений. Собственно говоря, в любых культурах существовал ответ на вопрос об устройстве универсума, но он был в значительной степени обусловлен имевшимися у древних культур представлениями о земных явлениях. Небо воспринималось как простое вместилище для Земли. Лишь западная цивилизация, ведущая начало от античной древнегреческой культуры, связала устройство универсума с изучением небесных явлений.

По мнению Куна, истоки научной космологии следует искать в античной Греции. Он отмечает, что античные астрономы начинают использовать многолетние наблюдения за небесными явлениями для анализа строения Вселенной. Однако эти данные не содержали непосредственной информации о структуре универсума, составе небесных тел или расстоянии до них, размере, положении или форме Земли, а также не давали ясного ответа на вопрос, движутся ли небесные тела. Характерная для западной цивилизации традиция использовать результаты наблюдения за планетами и звездами в качестве важнейшего источника для космологических построений, по мнению Куна, является наследием античной древнегреческой культуры. Он ссылается на Анаксимандра, который одним из первых дал рациональное механистическое описание Космоса.

Конечно, представления Анаксимандра о Вселенной были еще наивными, не соответствующими нашим сегодняшним знаниям, и вызывали спор среди древнегреческих астрономов и философов, его современников и последователей, которые, однако, использовали тот же метод рационального рассуждения о небесных явлениях. По мнению большинства из них, Земля — это малый шар, находящийся в середине существенно большего вращающегося шара, несущего на себе звезды. Солнце движется между этими двумя шарами, а за пределами большого шара нет ничего — ни материи, ни пространства. Эта теория строения универсума не была, конечно, в то время единственной, но имела наибольшее число сторонников. Несколько усовершенствованной версии этой теории придерживались ученые средних веков и Нового времени. Космологическое представление такого рода Кун называет «двухшаровый универсум». Без телескопа и специальных расчетов обнаружить движение Земли было невозможно, поэтому для астрономии невооруженного глаза двухшаровый универсум (добавим навигаторов и картографов) оказывается удобным и очевидным.



Таким образом, по Куну Коперник не выступает конкретно против двухшарового универсума, но его труд полностью отвергает эту картину мира. Он не возражает также против наличия эпициклов и эксцентриков, хотя его последователи игнорируют их. В чем же тогда состоит его революционность? Действительное революционное воздействие оказали математические детали типа отвергнутых им эквантов, продолжавших использоваться в сложной математической системе Птолемея и его последователями. Значит, первоначально предметом спора между Коперником и античными астрономами были лишь технические детали. Именно промахи в расчетах, в этих деталях и необычайная сложность системы Птолемея привели в конечном счете к коперниканской революции. Но несмотря на все недостатки, система Птолемея просуществовала довольно долго. Полемизуя со сторонниками логического анализа научного развития, Кун подчеркивает, что исторический революционный процесс никогда не соответствует его чисто логическим предначертаниям и объяснениям. Именно поэтому центром концепции Куна являются скрупулезный анализ конкретного исторического материала, выведение логических схем из его обобщения. Он вновь и вновь показывает, что наблюдения никогда не вступают в абсолютное противоречие с картиной мира. И несоответствия в системе Птолемея не могли еще служить основанием ее опровержения. Однако история коперниканской революции — это не просто история об астрономах и небесных телах, она затрагивала серьезные мировоззренческие проблемы, выходящие за пределы самой науки. Исследования европейских астрономов, например Тихо де Браге и Кеплера, поддерживались именно потому, что от них ожидали создания лучших гороскопов, поскольку астрология в то время оказывала необычайно огромное влияние на мышление большинства образованных людей Западной Европы.

Как известно, в античности и средние века господствовала аристотелевская картина мира, согласно которой Вселенная ограничена звездным шаром и существует контраст между стабильностью на небесах и переменчивостью земной жизни, т. е. абсолютное различие надлунного и подлунного миров. Аристотелевская система мира основана на чувственных восприятиях и здравом смысле. Законы Галилея и его эксперименты были важнее для науки, чем аристотелевская система, — они не лучше описывают повседневный опыт, но устанавливают регулярности, находящиеся за пределами этого чувственного опыта. Галилей обосновывает свой закон свободного падения не наблюдениями, а цепью логических аргументов. И хотя любой школьник, воспитанный на научных представлениях, без запинки ответит, что тяжелые и легкие тела согласно закону Галилея падают с одинаковой скоростью, в повседневной жизни тяжелые тела падают быстрее, чем легкие, что соответствует аристотелевским представлениям. Простое чувственное восприятие не подтверждает закона Галилея. Чтобы его проверить наблюдением, требуется специальное оборудование. Кроме того, возможно, по случайному совпадению, отмечает Кун, представление о пространстве в общей теории относитель-

тельности Эйнштейна во многом более сходно с представлением об этом Аристотеля, а не Ньютона. Вселенная Эйнштейна аналогична Вселенной Аристотеля, но вопреки ньютоновским представлениям может быть конечной.

Неверно полагать, продолжает Кун, что историческое пространство между Аристотелем и Птолемеем, с одной стороны, и Коперником, с другой, не было ничем заполнено. Именно в средние века была подготовлена почва для коперниканской революции. К началу XVI в. люди продолжали поддерживать античное описание Вселенной, но представляли его совершенно иначе. В университетах, возникающих повсеместно в Западной Европе в XII—XIII вв., начинаются возрождение научного античного наследия, его перевод на латинский язык, реконструкция и комментирование античных представлений и понятий, уточнение переводов и их интерпретация. Многие античные источники стали известны в Западной Европе благодаря арабам (о чем свидетельствует и само арабское название труда Птолемея).

Что касается роли церкви, то Кун призывает подходить к этому вопросу исторически, поскольку церковь в разное время демонстрировала разное отношение к науке. В XIII в., например, она начинает активно поддерживать науку (да и сам Коперник был священником и племянником епископа). Кроме того, критиками аристотелевской системы были такие средневековые ученые, как Иоанн Буридан, Николай Орезм, ученые, разрабатывающие теорию импетуса, и др.

Коперник, дав новое математическое описание планетного движения, не мог, однако, объяснить природу этого движения — это удалось в конечном счете лишь Ньютону, динамика которого завершила коперниканскую революцию. Но и Ньютон, по мнению Куна, не в меньшей, а может быть, и в большей степени зависел от проведенных средневековыми схоластами исследований.

Коперника часто называют первым современным астрономом, пишет Кун, но с таким же успехом он заслуживает звания последнего великого птолемеевского астронома. Его основополагающая книга *De Revolutionibus*, несмотря на ее революционные последствия, не была революционной, а сам Коперник был одновременно античным и современным, консервативным и радикальным ученым, что вполне соответствовало эпохе Ренессанса. Более того, если бы его книга не была единственной в этой области, то коперниканская революция получила бы другое имя.

Другим ученым этого времени Кун называет Тихо де Браге, сторонника птолемеевской и противника коперниканской системы и принадлежавшего, несомненно, к консерваторам. Однако влияние его произведений никак нельзя назвать консервативным. Тихо де Браге существенно развил технику астрономических наблюдений, сделал наивысшей точность астрономических данных и расчетов при наблюдении небесных явлений невооруженным глазом, разработал и построил многочисленные астрономические инструменты, более стабильные и точные, чем предыдущие, и создал новую технику расчетов и наблюдений. Но самое главное его достижение — установление

регулярного наблюдения за движениями планет, которое ранее было возможно лишь при занятии планетами определенных позиций. Систематические наблюдения за кометами позволили Тихо де Браге полностью отвергнуть аристотелевское представление о кристаллических планетных сферах, которого придерживался сам Коперник, хотя они и были препятствием на его пути к успеху. Именно эти наблюдения в конечном счете, вопреки намерениям Тихо де Браге, ускорили окончательное поражение птолемеевской и победу коперниканской системы. Впрочем, предложенная им модель Вселенной была с математической точки зрения полностью эквивалентна системе Коперника (рис. 39–40).

Таким образом, коперниканская революция по Куну — это не одномоментный, а длительный процесс, истоки которого следует

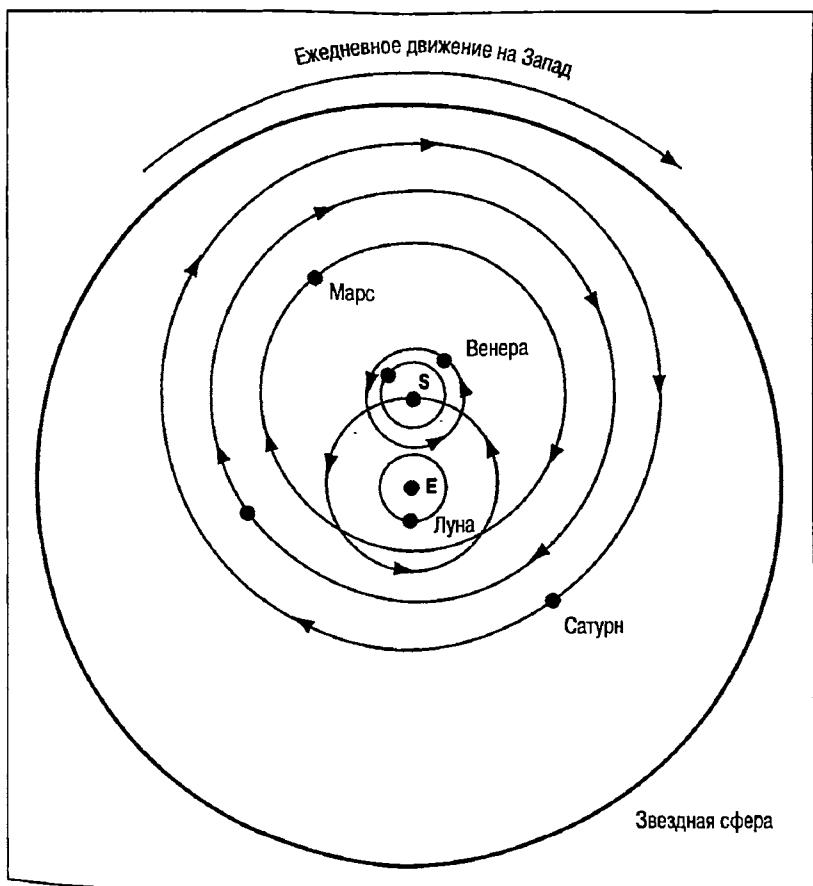


Рис. 39. Система мира, предложенная Тихо де Браге

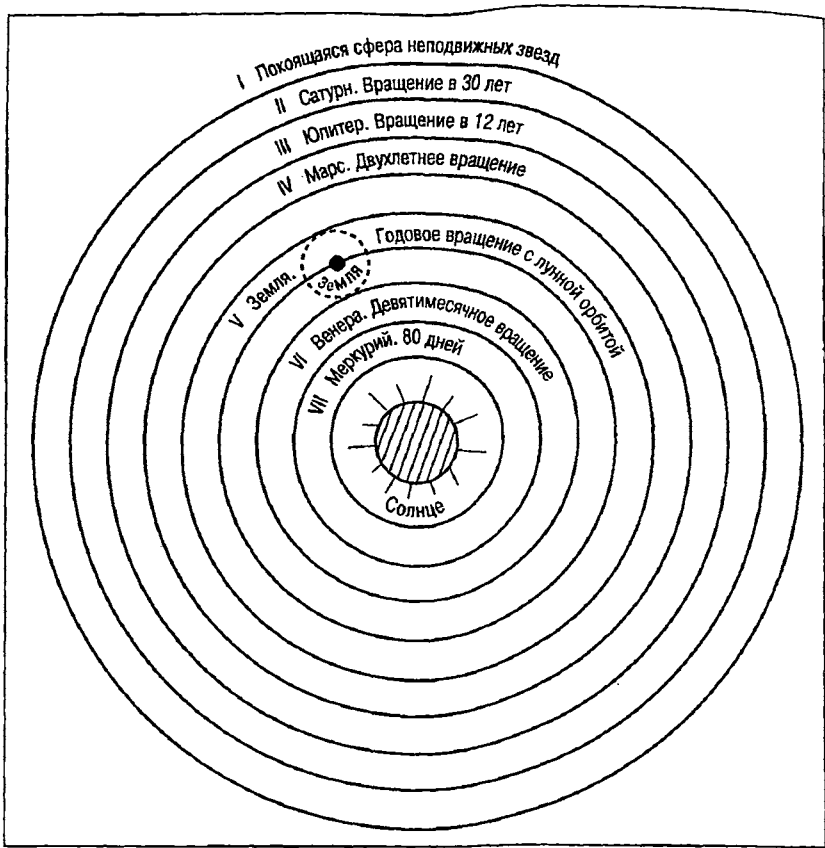


Рис. 40. Гелиоцентрическая система мира, предложенная Николаем Коперником

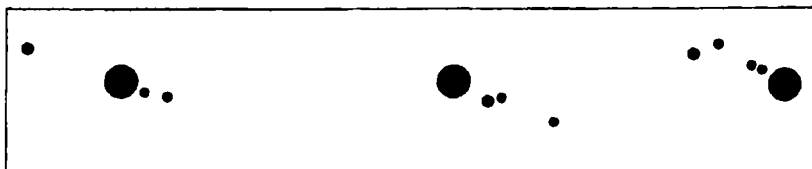
искать в античности и средневековье, и который закончился с возникновением гравитационной теории Ньютона. Кун называет ее поэтапной революцией, в центре которой находится фигура Галилея.

Галилей, как уже говорилось, первым использовал созданный им в 1609 г. телескоп и смог получить совершенно новые данные, представившие многочисленные доказательства истинности коперниканского учения. Однако к этому времени исход спора двух систем мира был почти разрешен в пользу коперниканского учения. Если бы Кеплер опубликовал *Рудольфианские таблицы* не в 1627 г., а несколько раньше, отмечает Кун, то история коперниканской революции, вероятно, была бы совершенно иной. Галилей фактически навел порядок в данной области в тот момент, когда победа Коперника была уже почти предрешена.

Телескоп Галилея был совершенно новым для астрономии инструментом. Галилей рассчитал и изготовил телескоп, который давал лишь незначительное увеличение, и сделал то, что никому до него не приходило в голову, — направил телескоп на небо. Результат оказался поразительным: при каждом наблюдении он открывал новые объекты. Даже наблюдение с помощью телескопа за уже хорошо известными небесными телами — Солнцем, Луной, другими известными планетами — давало новые данные, которые Галилей интерпретировал как аргументы в пользу коперниканского учения. Галилей, например, обнаружил на Луне горы и впадины и установил, что ее поверхность не слишком сильно отличается от поверхности Земли. Сомнение в совершенстве небесных тел, возникшее при этом, еще более усилилось при обнаружении темных пятен на Солнце, а изменение положения этих пятен доказало, что и Солнце вращается вокруг своей оси. Это полностью разрушало представление о совершенстве и неизменности небесной сферы. Млечный путь, который невооруженный глаз воспринимает как слабое туманное пятно, часто интерпретируемое как отраженный солнечный или лунный свет, предстал в виде гигантского скопления звезд. Это расширение кругозора означало расширение самой Вселенной. И уже даже постулируемая некоторыми коперниканцами бесконечность Вселенной перестала казаться абсурдной.

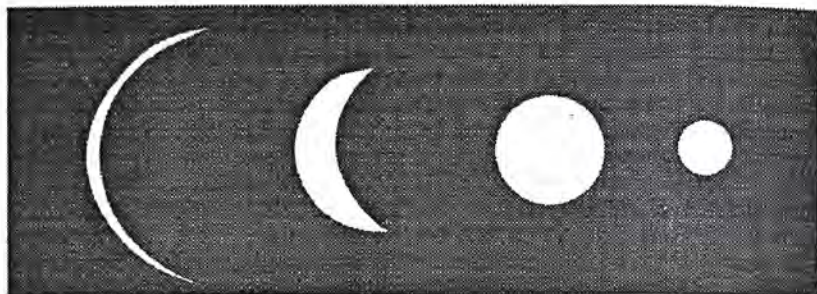
Однако наиболее сильным аргументом в пользу коперниканской системы было открытие Галилеем «лун» Юпитера (рис. 41). Именно они стали видимой моделью коперниканской солнечной системы. Количество аргументов в пользу теории Коперника возрастало с введением телескопа так же быстро, как и количество открытых с его помощью небесных объектов. Например, обнаружение Галилеем фаз Венеры (рис. 42), которые не могли быть увидены невооруженным глазом, разрушило представление о существовании деферентов и эпициклов (рис. 43) и достаточно убедительно доказало, что Венера обращается вокруг Солнца.

Кун отмечает, однако, что телескоп сам по себе, конечно, не мог служить доказательством коперниканских представлений, но оказался весьма результативным оружием защитников этих представлений. После 1609 г. люди, которые не имели раньше почти никакого представления об астрономии, посмотрев в телескоп, могли убедиться, что строение Вселенной вовсе не соответствует наивным предрассудкам так называемого здравого смысла. В XVII в. телескоп становится популярной игрушкой. Именно в этом, считает Кун, и заключается



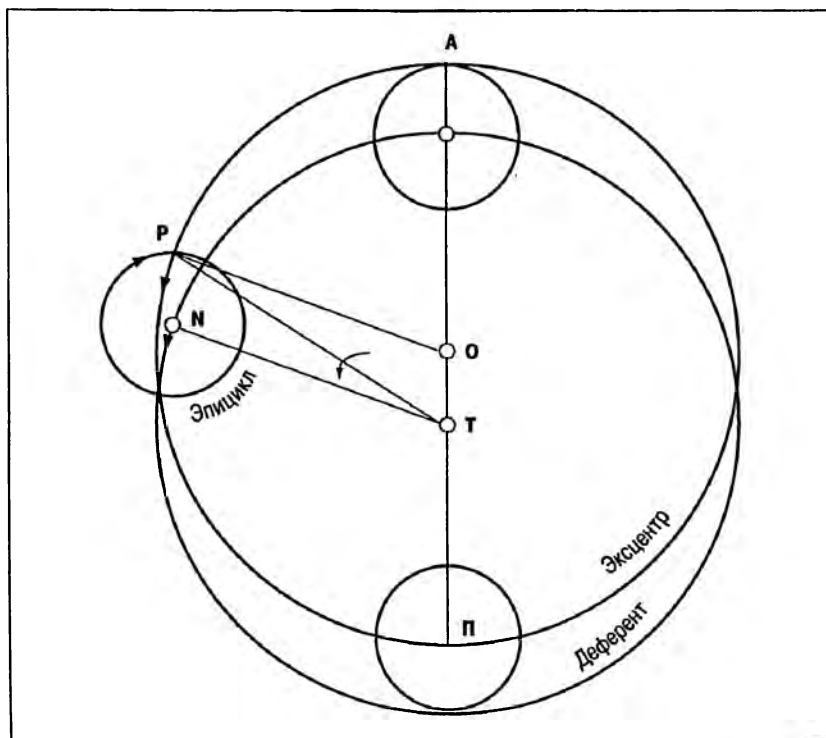
**Рис. 41. Спутники Юпитера и видимое в телескоп Галилея изменение их положения**

*(Рисунок взят из книги: Kuhn T. Die kopernikanische Revolution. Braunschweig/Wiesbaden: Friedr. Vieweg & Sohn, 1980, S. 225.)*



**Рис. 42. Наблюдаемые через слабый телескоп фазы Венеры**

*(Рисунок взят из книги: Weiß A., Burkard F.-P. Geheimnisvoller Kosmos. Wie Menschen sich die Welt erklärten. Freiburg: Herder, 1994, S. 29.)*



**Рис. 43. Изображение деферента, эпицикла и эксцентра**

главное значение астрономического труда Галилея — он сделал астрономию всеобщим достоянием, и эта популярная астрономия была коперниканской. С изобретением телескопа коперниканское учение перестает быть важным только для специалистов. Оно перестает быть лишь математической гипотезой, математическим приемом для астрономических вычислений, а приобретает физическое значение. Именно в этом и состоит, по Куну, главная особенность научной революции — она представляет собой переворот в мировоззрении не только ученых, но и всего общества, кардинальное изменение картины мира.

Однако введение в обиход телескопа вызвало и новую волну оппозиции, протестующей против коперниканского учения: одни ее представители вообще отказывались смотреть в телескоп на небо, утверждая, что если бы Господь желал применения телескопа, он бы оснастил самого человека телескопическими глазами; другие, посетив в телескоп на небо, утверждали, что видимые объекты существуют не на небе, а в самом телескопе. Однако большинство противников соглашались, что открытые Галилеем объекты находятся на небе, но подчеркивали, что еще не доказывает выдвигаемые им утверждения. И в этом, считает Кун, они были правы, поскольку телескоп давал указание, но не мог служить доказательством. В течение еще 150 лет после кончины Галилея происходит постепенный переход всех астрономов под флаг коперниканства. В середине XVII в. почти все астрономы были сторонниками теории Коперника, а к концу этого столетия не быть коперниканцем для астронома стало просто невозможным.

Правда, в протестантских университетах, сообщает Кун, даже в конце XVII в. изучали все три системы мира — Птолемея, Коперника и Тихо де Браге. Но в XVIII в. уже господствует коперниканское учение. Однако то, что изучали в это время в университетах Западной Европы, было уже не учением Коперника, Галилея и Кеплера, а представлением Вселенной в виде ньютоновской мировой машины. Именно в гравитационной теории Ньютона, как уже упоминалось, коперниканская астрономическая революция получила завершение. Подлинным ее триумфом было теоретическое предсказание на основе математических расчетов в 1846 г. одновременно французом Лаверье и англичанином Адамсом существования неизвестной планеты, которая была причиной нерегулярности движения планеты Уран по своей орбите. Направив в предсказанное место телескоп, немецкий астроном Галле обнаружил новую планету — Плутон.

## 7. Эволюционное представление С. Тулмина о развитии науки и техники в эпоху Галилея.

С. Тулмин излагает представления о коперниканской революции в свете своей концепции эволюционного развития науки в книге «Модели космоса» (написанной совместно с Гудфильдом)<sup>24</sup>. Он считает,

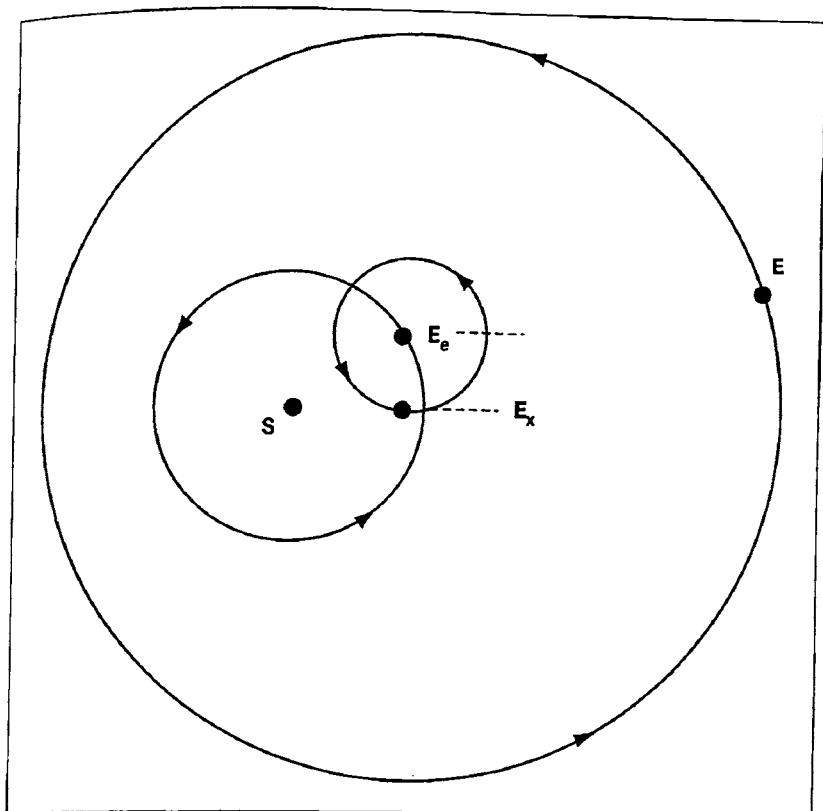
<sup>24</sup> *Toulmen S., Goodfield J. Modelle des Kosmos. München: Wilhelm Goldmann Verlag, 1970.*

что восприятие перехода от птолемеевской к коперниканской модели Космоса как «революционного» изменения может привести к ошибочному представлению реальной истории науки. Самого Коперника во многих случаях можно оценить как «консервативную» или даже «реакционную» фигуру — в конечном счете он не сделал никакого грандиозного открытия в астрономии в отличие, например, от Тихо де Браге, провел не более десятка астрономических измерений и то только те, которые ему были необходимы для сравнения собственных расчетов с наблюдениями Птолемея и в общем и целом использовал часто неверные данные, заимствованные у Птолемея. Кроме того, методы расчета, используемые Коперником, были не более, а иногда даже менее точны, чем расчеты Птолемея, да и сами расчеты не стали проще. Даже наивысшее достижение системы Коперника — исключение обратного движения планет как ошибки наблюдения находящегося на Земле наблюдателя — после полной разработки теории отошло на задний план, поскольку для расчета действительных планетных орбит необходимо было создавать конструкции, основанные на дополнительной гипотезе о собственном движении Земли вокруг фиктивного пункта, в свою очередь двигающегося вокруг Солнца (рис. 44).

Почему же тогда коперниканская революция получила право на существование, несмотря на все приведенные историко-научные факты? — спрашивает Тулмин. И отвечает: теория Коперника попала на благотворную культурную почву и в удачное время. Сам же Коперник был скорее, по мнению Тулмина, астрономом эпохи античности, а не Нового времени. Ход его мыслей имеет больше общего с аристотелевским или птолемеевским, нежели с кеплеровским и ньютоновским представлениями. Если же говорить о состоянии физики или естествознания во времена Коперника, то во многих их областях или вообще не было никаких следов так называемой научной революции или же наблюдалось лишь незначительное ускорение прогресса науки, которое, впрочем, можно с таким же успехом отметить еще во времена позднего средневековья. Все же, пишет Тулмин, прогресс в естествознании в период между 1550 и 1700 гг. никак нельзя умалять, хотя он ограничивался только несколькими областями естественнонаучного исследования, к которым, несомненно, следует отнести астрономию и динамику.

Тулмин критикует также широко распространенное представление о «реакционной» роли церкви и схоластики в этом процессе. Напротив, утверждает он, церковь играла решающую роль в обновлении естествознания в средние века. Именно в этот период можно отметить растущее самосознание ученых и формирование академической традиции: без создания теоретической научной традиции в средние века возрождение естествознания в Новое время в Западной Европе вообще было бы невозможно. Были, конечно, и неудачи и возвратные движения в истории науки. «Физика» и «Метафизика» Аристотеля попали в Европу через исламский мир — через Аверроэса, комментарии которого затрудняли гармонизацию аристотелевского





**Рис. 44. Движение Земли вокруг фиктивного пункта, в свою очередь перемещающегося вокруг Солнца**

$E_e$  — центр земного эпицикла,  $E_x$  — фиктивный пункт, находящийся в стороне от Солнца (S), вокруг которого вращается Земля (E).

(Рисунок взят из книги: Toulmen S., Goodfield J. *Modelle des Kosm* München: Wilhelm Goldmann Verlag, 1970, S. 183.)

учения с ортодоксальной христианской теологией, поэтому учение Аристотеля было на долгие годы вычеркнуто из учебных планов средневековых школ. Однако после того как Фома Аквинский доказал, что ни одна часть учения Аристотеля не противоречит официальной теологической доктрине, аристотелевская теоретическая система стала основой западноевропейской естественной науки. Только учитывая это почти 500-летнее усваивание античного наследия, можно верно понять и оценить те духовные задачи, которые стояли перед Коперником и его последователями.

Средневековье оставило астрономам XVI в. двойное наследие: с одной стороны, целый ряд расчетов и методик расчетов, которые со времен Птолемея почти не изменились, а с другой стороны, сложную космологическую картину мира, представлявшую собой весьма несовершенный синтез аристотелевской физики с моделью эпициклов Птолемея. Во многих современных научно-популярных брошюрах утверждается, что Николай Коперник сознательно пытался опровергнуть это представление о картине мира и указал естествознанию новую дорогу, приведшую посредством учения Галилея и Ньютона к современной естественной науке. Причем его современники с удивительной предубежденностью и научной слепотой не только не замечали, но и не хотели замечать правоту Коперника, которая для нас сегодня является очевидной. Его главный труд представляет собой первоначально современного естествознания и произвел революцию во всех науках. Тулмин не приемлет эту историческую картину, называя ее карикатурой на реальную историю науки. Он подчеркивает, что революция — в науке или в политике — подразумевает внезапное радикальное изменение системы в целом. Однако такое представление неизбежно приводит к ошибкам, поскольку, по крайней мере, в области науки, революции в этом смысле вообще невозможны. Тулмин фактически заменяет это представление разработанной им ранее эволюционной моделью развития науки.

Появление новых представлений по Тулмину — это длительный процесс. Сначала новые идеи возникают лишь при поиске специальных ответов на частные вопросы. После первых проверок появляется более глубокая критика в рамках все той же специальной научной области. Наконец, установленные на основе этой критики следствия и новые возможности постепенно становятся все более отчетливыми для научного сообщества и начинают использоваться в других научных областях как основа планируемых исследований. В конечном счете имеющийся опыт переосмысливается и новые представления на основе построения системной теоретической модели включаются в измененную картину реальности. Именно таким образом, в соответствии с моделью эволюционных изменений, первоначально незначительные и едва заметные начинания постепенно преобразуются в обширные изменения в науке..

Коперник, по мнению Тулмина, руководствовался не бунтарскими намерениями перевернуть мир, а простым стремлением заменить многие конструкции Птолемея, которые он считал противоречивыми, удовлетворительной с точки зрения логики системой планетных движений. И должно было пройти более 100 лет, чтобы эта новая система получила всеобщее признание. Во времена же Коперника и некоторое время после него было вовсе неочевидно, что коперниканская система превосходит существовавшее до него учение о движении планет. Однако Копернику повезло больше, чем его древнегреческому предшественнику Аристарху, поскольку его идеи были подхвачены и развиты последующими поколениями исследователей, например Кеплером и Ньютоном, развившими на этой основе собственные теории. Таким образом, отклонив из чисто эстетических соображений птолемеевские методы, Коперник объединил астрофизику с математической астрономией на новой основе, однако никак не мог предвидеть масштабы будущего применения теории, которая имела весьма существенное значение при становлении новой научной картины мира. Его

цель заключалась в том, подчеркивает Тулмин, чтобы восстановить аристотелевскую физику, которой Птолемей следовал не всегда. Кроме того, гелиоцентрическое учение Гераклита и Аристарха было известно еще до начала XVI в. — на него ссылались парижский ученый Николай Орезм, а через 100 лет — в XV в. — Николай Кузанский, немецкий кардинал и ученый (правда, они не были профессиональными астрономами). Коперник был первым астрономом, выступившим против птолемеевой теории, но и он связывал правильность геометрических конструкций с коррекцией ошибок птолемеевой модели мира.

Теперь рассмотрим, как оценивает Тулмин с точки зрения эволюционной концепции науки роль Галилея в так называемой коперниканской революции. Точно так же, как и в случае с Коперником, популярные издания, по его мнению, зачастую дают неверное историко-научное представление. В области развития механики, например, утверждается, что период между Аристотелем и Галилеем был временем стагнации в науке, поскольку монахи и философы придерживались формальной логики из любви к схоластической казуистике. Галилей же с помощью введенного им «экспериментального метода» постоянно разоблачал ложные выводы и ошибки средневековых ученых. Последние историко-научные исследования доказывают, однако, что это искажение действительности.

В течение многих столетий, разделяющих Аристотеля и Галилея, механика как наука о движении материальных тел и действующих на них сил демонстрирует все новые успехи. Да и труд всей жизни Галилея нужно трактовать лишь как вершину средневековой традиции. Именно эта традиция породила и обсуждаемые им вопросы, и методику доказательств, и даже используемые им термины. Таким образом, заключает снова Тулмин, без воспринятых Галилеем средневековых научных традиций он не смог бы сделать своих открытий. Кроме того, огромную роль сыграло использование им итальянского языка для создания «Диалогов...», ставших доступными каждому образованному читателю, а не только узкому кругу специалистов. После публикации «Диалогов...» Галилея отпала необходимость цитировать оригинальные работы его предшественников из прошлых столетий. Фактически Галилей внес такой же вклад в механику средневековья, как Евклид — в древнегреческую геометрию. Исследования мертонской и парижской школ были забыты. В этой области науки работы Галилея не разрушали, а развивали, совершенствовали средневековые научные традиции — например, его знаменитый эксперимент для измерения движения бронзового шарика по наклонной плоскости, его измерения теплоты в условиях, известных уже натурфилософам XIV в. Однако, будучи физиком XVII в., Галилей сконструировал термометр, чтобы получить цифровые данные о градусах теплоты. В то же время его ставшее впоследствии знаменитым открытие экспериментального метода преследовало цель не искоренить ошибки средневековых ученых, а скорее, приблизить абстрактно сформулированные знания к реальному миру.

По мнению Тулмина, Галилей был весьма спорной фигурой в свое время и частично остается таковым и сегодня. Он был искренним, открытым, гениальным и изобретательным человеком, которому трудно давались дипломатическая тактика и сокрытие собственных взглядов: он постоянно полемизирует, проявляя необыкновенную одаренность, но при этом зачастую превращает своих противников не только в преданных друзей, но и в завистников и врагов. Исследования Галилеем природных явлений охватывают практически все темы из области физики, которые в то время обсуждались: Галилей изобрел термометр, заменив субъективные оценки теплоты объективными измерениями, обсуждал вопросы военной техники и сопротивления балок разрушению, обращался последовательно к акустике, гидростатике, учению о вакууме, оптике и учению о магнетизме. Но прежде всего в течение всей своей жизни он страстно увлекался астрономией Коперника и математической теорией движения.

Галилей исследовал довольно ограниченную область астрономической науки, но обладал счастливой способностью выбирать верное направление, приносившее ему неизменный успех. В 1572 г. открытие им сверхновой звезды позволило поставить под сомнение понятие неподвижности звезд. В 1610 г. в «Звездном вестнике» (Венеция) были опубликованы радикально новые результаты и теории, полученные Галилеем с помощью подзорной трубы, разработанной им самим: значительно большее, чем казалось невооруженному глазу, число «неподвижных звезд»; Млечный путь в виде огромного скопления звезд; поверхность Луны, подобно поверхности Земли состоящая из гор и впадин; «луны» Юпитера, устранившие многие сомнения по поводу коперниканской модели Вселенной; открытие пятен на Солнце.

Никакая другая книга Галилея, по мнению Тулмина, не вызвала такого резонанса во всем мире — не только на европейском континенте и в Англии, но даже в далеком Пекине. Астрономия стала вызывать особый интерес не только у профессиональных ученых, но и у простых людей, которые начали обзаводиться модной игрушкой — телескопом. Однако известно, что жизненный путь Галилея закончился трагически. Его знаменитый труд «Диалог о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой», опубликованный в 1632 г. и представлявший собой подробное исследование спорных вопросов между этими двумя системами, был запрещен церковью. В этой книге он в популярной форме приводит аргументы в пользу коперниканской системы и усиливает их не только заимствованными у Аристарха, Николая из Орезма и Коперника аргументами, но и результатами собственных наблюдений и рассуждений. Однако как правоверный католик Галилей ни в коей мере не хотел принести ущерб церкви и публично отказался от своих взглядов.

Таким образом, подытоживает Тулмин, Галилей сослужил астрономии двоякую службу. Во-первых, он ввел в обиход ставший позднее незаменимым астрономический инструмент — телескоп, доказав с его помощью впервые в мировой истории, что кроме видимых простым глазом объектов на небе имеется множество других небесных тел. (Это ознаменовало начало до сих пор незавершенного процесса постоянного расширения нашего космического горизонта.) Во-вторых,

благодаря его многолетним усилиям, доказавшим, что коперниканская система является физически истинной, астрономия перестала быть лишь математической системой, поставляющей правильные основания для расчетов, — к сфере ее компетентности вновь, как во времена античности, были отнесены строение, состав и принцип действия небесных явлений. Однако Галилей почти не касался проблем астрофизики, тонкостей геометрии планетной системы, а также наблюдаемого движения небесных тел по своим орбитам.

Обсуждая роль личности в истории науки, Тулмин отмечает, что часто создается впечатление, будто та или иная *одна* личность, например Галилей или Ньютон, сыграла решающую, революционную роль в развитии науки. Именно такой точки зрения придерживается Карл Поппер, считая, что каждая теория является детищем какого-либо одного гениального создателя. Однако при ближайшем рассмотрении выясняется, что, во-первых, даже ньютоновский синтез представляет собой результат предварительной работы многих предшествующих поколений ученых, и, во-вторых, если бы не было Ньютона, сделанные им открытия в науке осуществили бы, весьма вероятно, другие исследователи. Неповторимость исследований Ньютона заключалась не в деталях, а в общем представлении. Лишь в родной ему Англии насчитывалось, пожалуй, около полудюжины современников, имеющих одинаковое с ним образование и использующих те же источники, однако в отличие от Ньютона никто из них не смог бы решить огромную научную проблему в целом — была бы решена лишь ее часть. Только Ньютон обладал внутренним зрением и математическим умением, позволившими ему создать первый набросок новой системы, попытаться объединить отдельные линии исследования и открыть новую космологическую систему знаний. Именно такое постепенное сплетение «концептуальных» нитей в сложные концептуальные системы и составляет основу эволюционной модели истории развития науки по С. Тулмину в отличие от революционной модели Т. Куна.

## **8. Выводы: место в научно-технической революции новой методологии Галилея и ее вклад в развитие новой «философии техники», новой методологии исследования и проектирования**

Подводя итог рассмотрению различных концепций современной философии науки, посвященных феномену Галилея, следует отметить его важный вклад не только в становление новой методологии экспериментального и математизированного естествознания, но и в развитие современной «философии техники», той программы сциентификации техники и технизации науки, которая поэтапно реализовывалась в течение трех последующих столетий.

Галилей выбрал необычную для средневековой ремесленной техники и схоластической науки позицию: техника стала опираться на математические знания и методы, а наука — на специально технически подготовленный эксперимент. Не случайно Галилей критиковал

ремесленников, не учитывающих научных знаний и законов при сооружении машин, «строящих иногда свои изобретения на ложных основаниях», пытающихся «обмануть природу, не учитывая основы ее устройства»<sup>25</sup>.

В то же время развитие естественнонаучных идей Галилея в значительной степени определялось ориентацией на техническую практику того времени. Сама исходная задача исследования — изучение траектории движения снаряда — возникла под влиянием военно-инженерных разработок в артиллерии.

Инженерную, по сути, задачу — расчет угла наклона, который должен иметь орудие, чтобы дальность полета снаряда была наибольшей, — решал еще ранее Никколо Тарталья, итальянский математик и инженер, консультировавший артиллеристов венецианского арсенала. На вопрос о том, как надо наклонить орудие, чтобы оно стреляло дальше всего, Тарталья дает необычный, казалось бы, ответ — под углом 45°. Он показал на опыте, что угол наклона должен быть именно таким<sup>26</sup>. Галилей же доказал этот факт теоретически, а именно, что движение тела, брошенного под углом к горизонту, будет происходить по математической кривой — параболе.

Проблема определения траектории полета снарядов была в то время весьма актуальной и насущно необходимой. «Ошибочная теория неизбежно приводила к порочной технике, а ошибки в последней больно отражались на самом существовании ошибающегося. Отстать в военном деле, а следовательно, в его технике, значило потерять право на существование»<sup>27</sup>. Университетская наука, занимавшаяся проблемами движения, была далека от этих практических задач. Применяемые же на практике расчетные таблицы давали лишь приближенные значения. Тарталья решал эту задачу инженерным путем, а Галилей формулировал ее с точки зрения естествознания.

Галилей сопоставил траекторию криволинейного движения артиллерийского снаряда с уже известными в геометрии кривыми и разделил его на равномерное и естественно-ускоренное движение — свободное падение. Это, видимо, и явилось стимулом для создания им единой теории о всех видах движения — криволинейном, равномерном и свободном падении. Галилей связал воедино теоретическое и экспериментальное доказательство. Объект, созданный в теории, сопоставляется с объектом-оригиналом в эксперименте. Задача

<sup>25</sup> Галилей Галилео. Избранные труды. В 2 т. М.: Наука, 1964. Т. 2, с. 8, 10, 54.

<sup>26</sup> Причем сам он утверждал, что у него были «математические доводы», хотя он нигде их не воспроизводит. В книге «Проблемы и различные изобретения», изданной в 1546 г., Тарталья писал, что траектория полета снаряда (т. е. тела, брошенного под углом к горизонту) в этом случае «не имеет ни одной части, которая была бы совершенно прямой» (Гиндикин С. Г. Рассказы о физиках и математиках. М.-Л.: Наука, 1982, с. 10–11). Энгельс отмечал, что именно итальянцу «Тарталья приписывают открытие того факта, что максимальную дальность полета снаряда дает угол возвышения в 45°». К этому периоду относятся «первые теоретические исследования в области артиллерийского дела и в отношении полета снарядов»; процессе решения этой задачи «были заложены теоретические основы артиллерийской науки». (Маркс К., Энгельс Ф. Соч., т. 14, с. 200).

<sup>27</sup> Гукковский М. А. Механика Леонардо да Винчи. М.-Л.: АН СССР, 1947, с. 224.

заключается в том, чтобы с помощью определенных технических устройств создать условия, в которых поведение объекта-оригинала, преобразуемого в экспериментальный объект, соответствует теоретическим представлениям. Таким образом, здесь налицо инженерная задача, поскольку данный экспериментальный объект фактически является технической реализацией созданного в теории идеального объекта.

Для Галилея реальный объект точно соответствует идеальному объекту, но идеальное поведение объекта искажается под влиянием различных факторов, например трения. Для нейтрализации этих нежелательных свойств реального объекта, препятствующих отождествлению его с идеальным объектом теории, Галилей использует технические средства. До него такого рода изменение было невысказано. Галилей же стремился так приспособить экспериментальный объект, чтобы он в наибольшей степени соответствовал идеализированным условиям, сформулированным в теории. Таким образом, он одновременно продемонстрировал, как строить научное знание, чтобы можно было использовать его в технических целях. Поэтому экспериментальное естествознание, одним из творцов которого являлся Галилей, и было с самого начала ориентировано на техническое развитие и породило впоследствии научную технику и технические науки.

Галилей постоянно подчеркивает практическую направленность новой науки. Описание им опытов является технически воспроизводимым инженерным предписанием. Галилей чаще апеллирует к ремесленной технической практике, чем к чистому созерцанию, характерному для античной науки. Например, доказывая шероховатость поверхности Луны с помощью того аргумента, что она соответственно отражает солнечные лучи, он пишет: «... также и бриллианты выделяются со многими гранями, а отшлифованная сталь под некоторыми углами зрения кажется блестящей, под другими — темной»<sup>28</sup>.

Для доказательства естественнонаучных утверждений Галилей наблюдает и за функционированием действующих технических устройств. Например, в работе «Беседы и математические доказательства» он обращается к исследованию работы насоса: «... насос имел поршень с верхним клапаном, так что вода поднималась всасыванием, а не давлением, как это делается в насосах с нижним клапаном. Пока колодец был наполнен водою до определенной высоты, насос всасывал и подавал ее прекрасно, но как только вода опускалась ниже этого уровня — насос переставал работать. Заметив первый раз такой случай, я подумал, что насос испорчен, и позвал мастера для починки; последний заявил, однако, что все было исправно, но что вода опустилась до той глубины, с которой она не может быть поднята насосом вверх; при этом он прибавил, что ни насосами, ни другими машинами, поднимающими воду всасыванием, невозможно поднять воду и на волос выше 18 локтей; были ли насосы широкими или узкими —

---

<sup>28</sup> Галилей Галилео. Избранные труды. В 2 т. М.: Наука, 1964. Т. 1, с. 177.

предельная высота остается той же самой»<sup>29</sup>. Невозможность искусственного воспроизведения какого-либо природного явления — самый веский аргумент для Галилея. Да и в своей новой науке Галилей «действует» с природными объектами, как современный инженер, главным образом в сфере мышления, а не практического действия, задавая новый стиль научно-инженерного и инженерно-научного мышления — новую «философию техники», основанную на науке<sup>30</sup>.

Таким образом, Галилей впервые разработал новый стиль научно-инженерного мышления, принципиально новый тип рассуждения, на необходимость которого указывали и Роджер Бэкон, и Леонардо да Винчи, и Никколо Тарталья, и многие другие. Экспериментальное естествознание и основанная на нем инженерная деятельность предполагали оперирование с идеализированными объектами и схемами, что создавало основу для их математизации. Деятельность инженера и деятельность ученого-экспериментатора гораздо более сходны между собой, чем представляется зачастую. Современный инженер чаще всего имеет дело не непосредственно с реальными техническими объектами, а с чертежами, схемами, проектами. Поэтому классические образцы инженерной деятельности часто создают именно ученые, конструирующие экспериментальное оборудование, а не профессиональные техники-практики. Первым ученым такого рода и был Галилей. Его работы создали основу для формирования образцов инженерного мышления и деятельности не только в теории, но и на практике.

---

<sup>29</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., т. 2, с. 128.

<sup>30</sup> Там же, т. 1, с. 327.



# РАЗДЕЛ 3

## КЛАССИЧЕСКОЕ И НЕКЛАССИЧЕСКОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ТЕХНИКА. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ЕСТЕСТВОЗНАНИИ И ТЕХНИКЕ

---

### Глава 1. КЛАССИЧЕСКОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ТЕХНИКА

#### 1. Строение и генезис естественнонаучной теории. Техника как объект исследования естествознания

##### *Экспериментальное естествознание и инженерная деятельность*

Существует распространенное мнение, что ученый-естествоиспытатель имеет дело только с миром природного, естественного, а инженер — с миром технического, искусственного. Однако это не совсем так. Возникновение экспериментального естествознания было тесно связано с миром искусственного, искусственной, технической переработкой природных явлений и процессов, исследованием и развитием мира «механических искусств», в том числе исследованием «как природы механических орудий, так и принципов их действия». «В результате действительной почвой физического эксперимента становится «естественная техника», или же, иными словами, механическая природа»<sup>1</sup>. Да и сами природные процессы часто осмысливаются в новой науке как рукотворные, искусственные. Природа — «божественный зодчий» — «удивительно пользуется способами самыми неожиданными ... удивительными и неожиданными для нас, но не для нее, — пишет Галилей, — так как природа с величайшей легкостью и простотой совершает вещи для нашего разума бесконечно изумительные, и то, что в ней в высокой степени трудно постигнуть, для нее не составляет никаких трудностей сделать»<sup>2</sup>. Здесь природа рассматривается как «инженер», искусственно создающий природные, а значит, естественные объекты, и задача ученого — раскрыть ее «хитрости», постичь то, что ею уже сделано. Да и инженер, изучив эти премудрости природы, сознательно учитывает ее законы, создавая технические

<sup>1</sup> Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента (от античности до XVII века). М.: Наука, 1976, с. 217.

<sup>2</sup> Галилей Галилео. Избранные труды. В 2 т. М.: Наука, 1964, т. 1, с. 125.

системы, в отличие от «механика» — ремесленника, действующего часто вопреки природе, стремящегося ее обмануть, т. е. действующего вопреки «естественному» течению процессов на основе искусства, «ухищрения». Даже первые инженеры-самоучки в отличие от «технических романтиков» средневековья, которые воплощали в жизнь свои изобретения так, «как будто бы они были вовсе свободны от стеснения, налагаемого свойствами материалов, из которых придется изготовлять изобретенную машину, и способами изготовления», обязательно опирались на современные им научные достижения<sup>3</sup>.

Итак, и в экспериментальном естествознании, и в инженерной деятельности устанавливается определенная взаимосвязь между природным и искусственным миром («второй природой», созданной деятельностью человека-творца).

Понятия «естественное» и «искусственное» существовали еще в античной философии. Первоначально естественное (закон, принцип развития или внутренняя сила, обуславливающая именно данный, а не иной ход процесса) рассматривалось античными натурфилософами как антитеза сверхъестественному<sup>4</sup>. Платон уже различает существующее «по природе» (то, что от природы) и «по закону» (то, что приобретается старанием, упражнением, обучением, что принуждает ко многому, что противно природе)<sup>5</sup>. «Мудрость состоит в том, чтобы говорить и действовать «согласно природе»... чему учил еще Гераклит. Платон изменяет это соотношение: для него искусство — технэ — то ли божественное, то ли человеческое, стоит выше природы»<sup>6</sup>. Аристотель различал «естественное», происходящее согласно природе, «вероятное» и «случайное», т. е. естественное противопоставлял допустимому. Естественное — это то, причина чего заключена в самой вещи, что происходит по определенному закону, либо всегда, либо по большей части<sup>7</sup>. Однако естественное противопоставляется Аристотелем также насильственному, неестественному<sup>8</sup>. Естественное движение — движение к своему «естественному месту». Но Аристотель различает также существующее по природе, возникающее от природы и возникающее путем искусства (образованное искусством)<sup>9</sup>.

В Новое время в связи со становлением экспериментального естествознания проблема соотношения естественного и искусственного переосмысливается. Для Декарта всякое различие между естественным и искусственным исчезает, поскольку мир, природа трактуются им как машина. «Между машинами, сделанными руками мастеров,

<sup>3</sup> Чеканов А. А. Виктор Львович Кирпичев. М.: Наука, 1982, с. 79.

<sup>4</sup> Рожанский И. Д. Развитие естествознания в эпоху античности. М.: Наука, 1979, с. 94, 97.

<sup>5</sup> Платон. Соч. В 3 т. Т. 1. М.: Мысль, 1968, с. 89, 138–139, 148, 206, 223.

<sup>6</sup> Рожанский И. Д. Указ. соч., с. 101.

<sup>7</sup> См.: Зубов В. П. Аристотель. М.: АН СССР, 1963, с. 78.

<sup>8</sup> Указ. соч., с. 140.

<sup>9</sup> Там же, с. 103–104, 167–168; Аристотель. Соч. В 4 т. Т. 3. М.: Мысль, 1981, с. 82.

и различными телами, созданными одной природой, я нашел только ту разницу, что действия механизмов зависят исключительно от устройства различных трубок, пружин и иного рода инструментов, которые, находясь по необходимости в известном соответствии с изготовившими их руками, всегда настолько велики, что их фигура и движение легко могут быть видимы, тогда как, напротив, трубки или пружины, вызывающие действия природных вещей, обычно бывают столь малы, что ускользают от наших чувств. И ведь несомненно, что в механике нет правил, которые не принадлежали бы физике (частью или видом которой механика является); поэтому все искусственные предметы вместе с тем предметы естественные. Так, например, часам не менее естественно показывать время с помощью тех или иных колесиков, из которых они составлены, чем дереву, выросшему из тех или иных семян, приносить известные плоды»<sup>10</sup>. Такое понимание естественного и искусственного прямо противоположно аристотелевскому представлению, согласно которому природное противопоставляется созданному человеком, а физика — механике как искусству, но не науке. По Декарту же, механика является частью физики, изучающей «трубы и пружины, вызывающие действия природных вещей»<sup>11</sup>.

Галилей рассматривает эти понятия в нескольких контекстах. Во-первых, естественное (человеческое) как естественный ход вещей он противопоставляет сверхъестественному (божественному) — чуду<sup>12</sup>. Во вторых, естественное как необходимое является для него антитезой насильственному и случайному (находящееся под воздействием сил не может быть постоянным)<sup>13</sup>. В-третьих, естественное (природное, врожденное, самопроизвольное) отличается от искусственного (человеческого, рукотворного, изобретенного). Но главное его достижение при решении этой проблемы — не столько разграничение, сколько соотношение этих двух понятий, установление их взаимоотношений. В отличие от Аристотеля он рассматривает естественное движение в искусственных условиях, в идеализированном искусственным путем эксперименте. Прямолинейного движения в природе не существует; оно является результатом идеализации, искусственного воспроизведения естественного явления за счет устранения побочных влияний (воздействия внешних сил). Говоря, например, о плавающих телах, он пишет: «Понять причину этого явления очень легко, поскольку мы имеем явную их аналогию в любом искусственно приготовленном нами сосуде, в котором мы увидим естественно происходящими эти явления ...»<sup>14</sup>. В то же время он говорит и о «природе» механических орудий<sup>15</sup>, рассматривая их естественный компонент:

<sup>10</sup> Декарт Р. Избр. произведения. М., 1950, с. 539–540.

<sup>11</sup> Гайденок П. П. Эволюция понятия науки (XVII–XVIII вв.). М.: Наука, 1987, с. 169.

<sup>12</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., т. 1, с. 118.

<sup>13</sup> Там же, с. 129.

<sup>14</sup> Там же, т. 2, с. 527.

<sup>15</sup> Там же, с. 9.

«Механики часто заблуждаются, желая применить машины ко многим действиям, невозможным по самой своей природе...»<sup>16</sup>. Именно таким переходом искусственного в естественное и естественного в искусственное были заданы идеалы и нормы экспериментального естествознания, с одной стороны, и инженерной деятельности, с другой стороны.

Двойственная ориентация инженера — на научные исследования естественных, природных явлений и на производство, воспроизведение замысла искусственным путем, целенаправленной деятельностью человека-творца — заставляет его воспринимать свое изделие иначе, чем ремесленник и ученый-естествоиспытатель. Для ремесленника оно изделие рук человеческих, для ученого-естествоиспытателя это прежде всего природный объект. Для инженера же всякое создаваемое им техническое устройство представляет собой «естественно-искусственную» систему. С одной стороны, это явление природы, которое подчиняется естественным законам, с другой стороны — то, что необходимо искусственно создать (орудие, механизм, машина, сооружение и т.д.). Если цель технической деятельности — непосредственно организовать изготовление технической системы, то цель инженерной деятельности — сначала определить материальные условия и искусственные средства, оказывающие соответствующее влияние на природу, заставляющие ее функционировать так, как это нужно человеку, и лишь потом на основе полученных знаний установить требования к этим условиям и средствам, а также указать способы и последовательность их обеспечения и изготовления. Российский философ техники П.К. Энгельмейер указывал: «Техникой называется искусство заставлять природные силы работать на удовлетворение потребностей человека. При помощи техники человек, своею малой силой, преодолевает огромные силы природы. Изучив силы природы, человек выучился так составлять тела природы, чтобы их природное взаимодействие вызвало намечаемое им явление. В этом заключается секрет власти общественного человека над природой. Но не надо забывать, что человек покоряет природу, не иначе как только покоряясь ей, т.е. выполняя все ее требования, условия и законы ...»<sup>17</sup>.

Непонимание роли естественных законов в решении технических задач характерно лишь для доинженерного технического мышления. Как отмечает Галилей, «неразумные инженеры, думающие обмануть природу и только посрамляющие себя, стремясь применить машины для невыполнимых предприятий», фактически действуют как ремесленники<sup>18</sup>. Если для технического мышления характерна «искусственная» позиция, то для инженерного — «естественно-искусственная».

В современном значении слово «техника» имеет два смысла. В общем и широком смысле техника характерна для любого вида

<sup>16</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 7.

<sup>17</sup> Горохов В.Г. Петр Климентьевич Энгельмейер. Инженер-механик и философ техники. 1855–1941. М.: Наука, 1997, с. 198–199.

<sup>18</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., т. 2, с. 10.

человеческой деятельности (техника живописца, музыканта, оратора, исследователя и т. д.). В узком же смысле она означает деятельность профессионального техника как человека, достигающего практические цели. «Эту-то промышленно-хозяйственную, утилитарную деятельность и разумеют все тогда, когда употребляют слово техника без всякого придаточного слова»<sup>19</sup>. Техника всегда решает определенные задачи, обусловленные потребностями человека. Но не всякая осознанная потребность способствует возникновению технической задачи. «Технические задачи, вообще говоря, возникают либо из замеченного неудобства, либо из предчувствуемого преимущества. Известная потребность ищет удовлетворения»<sup>20</sup>. В то же время одна потребность может породить несколько технических задач. Когда же техническая задача решена, то говорят о техническом эффекте данной технической системы (скажем, технический эффект ножниц — разрезание надвое твердых тел). «Техника есть искусство вызывать намеченные полезные явления природы, пользуясь известными нам свойствами природных тел». Техника, таким образом, принадлежит к искусствам, т. е. к объективирующей деятельности, и в то же время средства техники относятся к «числу установленных естествознанием»<sup>21</sup>. Важно, однако, отличать техника от ремесленника, который «вырабатывает свои произведения исключительно путем усвоения раз навсегда выработанной рутины»<sup>22</sup>. Но еще более важно провести различие между техником и инженером: «На долю инженера выпадает деятельность творческая и направляющая, на долю техника — исполнение»<sup>23</sup>. Инженер, как и ученый-естествоиспытатель, имеет дело с идеализированными объектами и схемами.

Сочетание в инженерной деятельности естественной и искусственной ориентации заставляет инженера основываться, с одной стороны, на достижениях науки, из которой он черпает знания о естественных процессах, а с другой — на существующей технике, откуда он заимствует знания о материалах, конструкциях, их технических свойствах, способах изготовления и т. д. Совмещая эти два рода знания, он находит те «точки» природы, в которых природные процессы действуют так, как необходимо для функционирования создаваемой технической системы. «Явления природы между собой сцеплены так, что следуют друг за другом в одном направлении: вода может течь только сверху вниз, разности потенциалов могут только выравниваться. Пусть, например, ряд *A-B-C-D-E* представляет собой такую природную цепь. Является фактически звено *A*, а за ним следуют автоматически остальные...» Задача инженера создать с помощью искусственных средств

---

<sup>19</sup> *Энгельмейер П. К.* Техника как искусство // Научное обозрение, 1900, № 6, с. 1022.

<sup>20</sup> Там же, с. 1024.

<sup>21</sup> Там же, № 8, с. 1376.

<sup>22</sup> Там же, № 6, с. 1022.

<sup>23</sup> *Энгельмейер П. К.* Технический итог XIX века. Вып. 2. М.: Тип. К. А. Казначеева, 1898, с. 49.

материальные условия для «запуска» этой непрерывной цепи процессов природы. «Так, например, он желал бы, чтобы наступило явление *E*, но не в состоянии его вызвать своею мускульной силой. Но он знает такую цепь *A-B-C-D-E*, в которой видит явление *A*, доступное для его мускульной силы. Тогда он вызывает явление *A*, цепь вступает в действие, и явление *E* наступает»<sup>24</sup>. Именно для выяснения этой природной связи ученые используют естественнонаучные знания о характере и особенностях протекания различных природных процессов.

Итак, суть научного метода в технике состоит в следующем: «Если привести неодушевленные тела в такое положение, такие обстоятельства, чтобы их действие, сообразное с законами природы, соответствовало нашим целям, то их можно заставить совершать работу для одушевленных существ и вместо этих последних»<sup>25</sup>. Когда эту задачу начали выполнять сознательно, и возникла новейшая научная техника. Этот переход к научной технике был, однако, не однонаправленной трансформацией техники наукой, а их взаимосвязанной модификацией. Другими словами, «сциентификация техники» сопровождалась «технизацией науки». Наука повлияла на становление норм современного инженерного мышления, а инженерная деятельность — на формирование нового идеала научности.

Под влиянием инженерной деятельности постепенно меняются и представление о научном опыте, и его содержание, которое составляют уже не только простое наблюдение, но и инженерно подготавливаемый эксперимент. Галилей, например, употребляет понятие «опыт» в нескольких смыслах: во-первых, в смысле ежедневного опыта, обычного наблюдения за ходом природных явлений; во-вторых, в смысле наблюдения за функционированием искусственных сооружений (скажем, каналов и шлюзов), созданных для каких-либо других целей инженерами; в-третьих, в смысле искусственного, инженерного опыта или эксперимента, который он разделяет на мысленный (на чертеже или без чертежа, технически осуществимый или неосуществимый) и реальный. Реальный эксперимент заключается в разработке и создании специального экспериментального оборудования, проведении на нем планомерных опытов и наблюдений за его функционированием<sup>26</sup>.

Опыт в физике Декарта предназначен для того, чтобы проверить, совпадают ли действия построенного «теоретического механизма» (модели природы) с действиями механизма, который сконструирован Богом-Творцом<sup>27</sup>. Подобно Вильяму Гильберту приводя в качестве примера исследование свойств магнита, Декарт призывает исследователя сначала заботливо собрать «весь возможный для него опыт относительно этого камня», затем попытаться «сделать вывод: каково должно

<sup>24</sup> *Энгельмейер П. К.* Философия техники. Вып. 2. М., 1912, с. 85.

<sup>25</sup> *Рело Фр.* Техника и ее связь с задачей культуры. СПб., 1885, 1-2, 7-8.

<sup>26</sup> См.: *Галилей Галилео.* Избр. труды. В 2 т. М.: Наука, 1964, т. 1.

<sup>27</sup> *Гайденко П. П.* Эволюция понятия науки (XVII—XVIII вв.). М.: Наука, 1987, с. 170–171.

быть соединение простых естеств для того, чтобы оно могло производить все те действия, которые он обнаружит в магните», и лишь тогда «он может смело утверждать, что вскрыл истинную причину магнита, насколько это доступно человеку в пределах данного опыта»<sup>28</sup>. Таким образом, чтобы познать природу магнита, нужно создать его модель (мысленную или материальную), функционально аналогичную природному магниту, т. е. аналогично действующую в искусственно созданном экспериментальном устройстве. Подлинное научное объяснение природных явлений и заключается в искусственном воспроизведении их внешнего действия. При этом опыты «не производятся случайно, но должны быть изыскиваемы проницательными людьми с тщанием и с необходимыми издержками. Далее, не всегда бывает так, что те, кто способен правильно произвести опыты, получают такую возможность...»<sup>29</sup>.

Формируется совершенно новый в науке образ ученого-экспериментатора (в отличие от теоретика). В Лондонском королевском обществе, например, была даже учреждена штатная должность куратора экспериментов, которую занимал известный ученый-естествоиспытатель Роберт Гук. В его обязанности входила демонстрация два-три раза в неделю за вознаграждение новых опытов собственного изобретения. В своем трактате «Об экспериментальном методе» он постоянно подчеркивает большую научную роль приборов и инструментов как средства против ошибок чувственного опыта.

Само Лондонское королевское общество возникло на основе кружка, участниками которого были ученые и влиятельные любители наук, вносявшие взносы на проведение экспериментов. В уставе Общества его целью было объявлено усовершенствование знаний о природе путем эксперимента: «совершенствовать познания натуральных вещей и всех полезных искусств, мануфактур, механической практики, машин и изобретений при помощи экспериментов (не вмешиваясь в богословие, метафизику, моральные знания, политику, грамматику, риторику и логику); рассматривать «все системы, теории, принципы, гипотезы, элементы, истории и эксперименты естественных, математических и механических вещей, изобретенных, описанных или примененных любыми значительными авторами, древними и современными, для того чтобы составить полную систему надежной философии для объяснения всех феноменов, производимых природой или искусством, и для отыскания рационального пояснения причин вещей»; «спрашивать и заслушивать все мнения, не присоединяясь и не поддерживая какого-либо, пока путем обсуждения и ясных аргументов, основанных главным образом на законных экспериментах, если справедливость этих экспериментов неоспоримо доказана»; при этом «время заседания должно быть использовано на формулировку и выполнение экспериментов, обсуждение их справедливости, способа проведения, оснований и использования ...»<sup>30</sup>.

Р. Гук в своем трактате «Об экспериментальном методе» совсем в духе ремесленной техники превозносит «верную руку» и «добросовестный глаз» и особое внимание обращает на необходимость знакомства

<sup>28</sup> Декарт Р. Избр. произведения. М., 1950, с. 134–135.

<sup>29</sup> Декарт Р. Соч. В 2 т. Т. 1. М.: Мысль, 1989, с. 312–313 (Первоначальная философия, предисловие).

<sup>30</sup> Боголюбов А. Н. Роберт Гук. М.: Наука, 1984, с. 43–44.

ученого со всевозможными ремеслами и искусствами. Он создал микроскоп собственной конструкции, «пневматическую машину» (воздушный насос) для Роберта Бойля (будучи ассистентом этого знаменитого ученого), шарнир для крепления астрономических приборов, который до сих пор используется в машиностроении. Фактически Гук воплотил в себе тип того идеального «мастера-экспериментатора», о котором в давние времена мечтал еще Роджер Бэкон, указывающий, что этот мастер «знает естественные науки посредством опыта, а равно знает медицину, алхимию и все относящееся к нему и дольному миру. Он испытал бы стыд, если кто-нибудь из людей мирских знал бы то, что он сам не знает. Он знаком со всем делом литья металлов и с тем, как обрабатываются золото и серебро и другие металлы и все минералы. Знает он самолично и все относящееся к военному делу, оружию и охоте. Он изучил сельское хозяйство и земледелие. Он ознакомился даже с экспериментами и гаданиями колдуний, с предсказаниями их и всех магов... дабы от него не укрылось нечто, достойное познания, и чтобы уметь отличить все ложное и магическое»<sup>31</sup>.

Влияние инженерного мышления сказалось не только на экспериментальной деятельности ученых, но и на самих научных представлениях. Чтобы осуществить эксперимент, необходимо уметь искусственно вызывать явления в возможно простом и чистом виде. Это убеждение объяснялось идеализированным искусственно-естественным представлением, свойственным именно инженерному мышлению, — для эксперимента необходимо создать искусственные условия, которые не наблюдаются в природе. Например, Галилей не просто наблюдает за происходящими в природе процессами, а сначала строит искусственную идеализированную ситуацию, не акцентируя внимание на возможности ее реализации техническими средствами, но в принципе реализуемую, хотя и не имеющую места в природе. Затем он создает оригинальный «проект» уже технически реализуемой экспериментальной ситуации, скажем маятника (т. е. нити с грузом), в котором сила тяжести отделена от приложенной к телу силы. На основе этого «проекта» уже может быть «сконструирован» и проведен реальный эксперимент, например опыт с грузом, подвешенным на нити: «если отодвинуть его от отвесной линии, т. е. вывести из состояния покоя, и затем свободно отпустить, то он падает по направлению к названной отвесной линии и переходит за нее на такое же расстояние или лишь настолько меньше, насколько он встречает сопротивление воздуха, или других привходящих или мешающих движению обстоятельств»<sup>32</sup>.

В свою очередь, искусственно созданные в эксперименте ситуации сами должны быть представлены и описаны в научном плане как определенные естественные процессы. Рассуждая о механиках-практиках, Ньютон, к примеру, пишет, что «даже тяжесть, так как это

<sup>31</sup> Райнов Т. Роберт Гук и его трактат «Об экспериментальном методе». В кн: Научное наследство. М.-Л.: Наука, 1948, с. 677–678.

<sup>32</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., т. 1, с. 119.



не есть усилие, производимое руками, рассматривалась ими не как сила, лишь как грузы, движимые машинами. Мы же, рассуждая не о ремеслах, а об учении о природе и, следовательно, не об усилиях, производимых руками, а о силах природы, будем, главным образом, заниматься тем, что относится к тяжести, легкости, силе упругости, сопротивлению жидкостей и тому подобным притягательным и напирательным силам»<sup>33</sup>. Другими словами, в науке искусственно воссозданным экспериментальным ситуациям должен быть придан естественный статус. Без этого полученные в эксперименте результаты нельзя считать научными. «Вся трудность физики состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснить остальные явления»<sup>34</sup>.

Следовательно, даже в эксперименте главный акцент все же должен делаться на естественной позиции, в то время как в инженерной деятельности основное внимание уделяется искусственной позиции, хотя и тому и другому виду деятельности фактически присуща «естественно-искусственная» отправная точка зрения. Это объясняет различие задач экспериментальной и инженерной деятельности. Основная цель эксперимента — подкрепить, обосновать с помощью искусственных средств установленные теоретически естественные законы; цель инженерной деятельности — учитывая эти законы, создать искусственные технические средства и системы для удовлетворения определенных человеческих потребностей.

Таким образом, инженер, так же, как и ученый-экспериментатор, оперирует с идеализированными представлениями о природных объектах. Однако первый использует эти знания и представления для создания технических систем («искусственно-естественно-искусственная» позиция), а второй создает экспериментальные устройства для обоснования и подтверждения данных представлений («естественно-искусственно-естественная» позиция). В этом и выражаются прежде всего сходство и взаимовлияние экспериментального естествознания и инженерной деятельности, выполняющих в то же время различные функции в современной культуре и имеющих разную направленность.

Однако характерной особенностью экспериментального естествознания является не только и не столько *экспериментальность*, сколько то, что его основу составляет математизированная естественнонаучная теория. Любой эксперимент не имеет смысла, если не является теоретически спланированным, т. е. основанным на предварительно выдвинутой научной гипотезе, иначе говоря, если он не встроен в естественнонаучную теорию. Естественные науки, «пройдя стадию накопления первичных идеальных объектов, начинают создавать теоретическое знание за счет построения все новых систем таких объектов как бы «сверху» по отношению к практике Отмеченный способ

---

<sup>33</sup> Ньютон И. Математические начала натуральной философии. В кн.: А.И. Крылов. Соч., т. VII. М.-Л.: Мысль, 1936, с. 3.

<sup>34</sup> Там же.

построения знаний суть метод выдвижения гипотетических моделей реальности с их последующей проверкой. Он становится основным в развитии естествознания»<sup>35</sup>.

### *Структура естественнонаучной теории*

С точки зрения формально-логического анализа науки теория рассматривалась как языковая конструкция (как множество высказываний), анализируемая средствами формальной и математической логики. В качестве образца построения научной теории был выдвинут аксиоматический идеал организации научного знания. Логико-математический «скелет» теории (исходные константы и переменные, правила построения предложений-формул, аксиомы, правила вывода, теоремы и т. д.) был реконструирован в результате логического анализа математики и распространен на физические теории (в результате введения особых представлений о языке наблюдения — эмпирическом языке, механизмах интерпретации и эмпирической проверке теоретических высказываний, правилах соответствия, связывающих теоретические термины с эмпирическим знанием, гипотезе, эмпирических обобщениях и теоретических законах, экспериментальном методе и предсказательной силе теории и др.). Теории, не соответствующие этому идеалу, рассматривались как неполноценные.

Исследования содержательного методологического анализа теоретического знания возникли под влиянием решения философских проблем: соотношения эмпирического и теоретического уровня знания, исследования генезиса и роста научного знания, его взаимодействия с практической деятельностью и т. п. Такого рода исследования формировались путем расширения понятия «теория»: во-первых, к разряду теорий были отнесены не только традиционно анализируемые в формальной логике дедуктивные системы, но и так называемые описательные (эмпирические) и математизированные (использующие аппарат и модели математики, но не построенные по дедуктивному принципу) научные теории; во-вторых, в ее структуру были включены наряду с «теоретическими конструктами» исходная эмпирическая основа теории и даже существующие и предполагаемые приложения, совокупность мысленных экспериментов, наглядные представления и схемы, несводимые лишь к языковым конструкциям. Это позволило сформулировать оригинальную концепцию содержательной структуры научной теории, из которой мы и будем исходить<sup>36</sup>.

<sup>35</sup> *Степин В. С.* Становление научной теории. Минск: Наука, 1976, с. 18.

<sup>36</sup> Мы основываемся прежде всего на работах В.С. Степина, посвященных методологическому анализу содержательной структуры и особенно механизмов становления естественнонаучной (прежде всего физической) теории, которые сыграли важную роль в развитии в нашей стране нового направления — методологического исследования естественных и технических наук. См.: *Степин В. С.* Становление научной теории. Минск: Наука, 1976; *Степин В. С.* Философская антропология и философия науки. М.: Высшая школа, 1992; *Степин В. С.* и др. Философия науки и техники. М.: Фирма «Гардарика», 1996 (в особенности раздел «Структура и динамика научного знания»).

В структуре естественнонаучной теории выделим три основные компоненты: математический аппарат, концептуальный аппарат и теоретические схемы.

*Математический аппарат* необходим прежде всего для расчета экспериментальных ситуаций, являющихся средством обоснования и подтверждения полученных теоретических знаний. Кроме того, в развитой теории он выполняет также функцию развертывания или преобразования абстрактных (идеальных) объектов путем дедуктивного вывода. Математизация правил преобразования абстрактных объектов теории дает возможность получать новое знание, не обращаясь к эксперименту и наблюдению, т. е. не выходя за рамки теоретической деятельности. О действительной математизации той или иной науки можно говорить лишь в том случае, когда математические методы начинают применяться в этой науке не только для обработки результатов экспериментальных исследований, но и для поиска новых закономерностей, построения теории и создания специального формализованного языка этой науки.

Для математизации научной дисциплины необходима параллельная и даже предварительная разработка адекватного *концептуального аппарата*. Теоретические схемы и математический аппарат всегда употребляются в контексте определенного понятийного окружения. В этом смысле концептуальный аппарат необходим для понятийного закрепления теоретических схем и математического аппарата данной теории. В то же время многие теоретические понятия как бы содержат в свернутом виде соответствующую теоретическую схему и математическую процедуру.

Например, понятие емкости употребляется в физической теории совсем в ином смысле, чем в быденной жизни. Это, с одной стороны, теоретическая схема определенного физического процесса (движения электрических зарядов на обкладках конденсатора или электрического тока через него), а с другой — математическая операция интегрирования, если его рассматривать в контексте операционного исчисления.

В научной теории можно выделить несколько понятийных слоев (уровней), соотносимых друг с другом.

Например, в электродинамике ключевыми теоретическими понятиями для описания естественных физических процессов являются понятия энергии и импульса электромагнитного поля, излучения электромагнитной волны, тока смещения и др.; понятия же, скажем, диполя, вибратора, резонатора необходимы для представления обобщенных в теории экспериментов. Понятия амплитуды, частоты, фазы, периода и других характеристик электромагнитных колебаний необходимы для описания их формы и соответствующих математических зависимостей между физическими величинами.

*Теоретические схемы* — это совокупность абстрактных объектов, ориентированных, с одной стороны, на применение соответствующего математического аппарата, а с другой стороны — на мысленный эксперимент, т. е. на проектирование возможных экспериментальных

ситуаций, особых идеализированных представлений (теоретических моделей), которые часто выражаются графически.

Примером их могут быть электрические и магнитные силовые линии, введенные Фарадеем в качестве схемы электромагнитных взаимодействий. «Фарадеевы линии силы, — писал Максвелл, — занимают в науке об электромагнетизме такое же положение, как пучки линий в геометрии положения. Они позволяют нам воспроизвести точный образ предмета, о котором мы рассуждаем»<sup>37</sup>. Герц использует и развивает теоретическую схему Фарадея для осуществления и описания своих знаменитых опытов. Например, он приводит изображения так называемого процесса «отшнуровывания» силовых линий вибратора, что стало решающим для передачи электромагнитных волн на расстояние и появления радиотехники, и анализирует распределение сил для различных моментов времени. Он называет такое изображение «наглядной картиной распределения силовых линий».

Такое специальное схематическое представление, особенно в современной физической теории, необязательно должно выражаться в графической форме, но это не значит, что его вообще не существует. Представители научного сообщества, разрабатывающие данную теорию, всегда имеют такое идеализированное представление объекта исследования и постоянно мысленно оперируют с ним. В технике такого рода графические изображения играют еще более существенную роль, поскольку одна из особенностей инженерного мышления — оперирование подобными схемами.

Теоретические схемы выражают также особое видение мира под определенным углом зрения, заданным в теории. С одной стороны, они отражают интересующие данную теорию свойства и стороны реальных объектов, а с другой — являются оперативными средствами для идеализированного представления этих объектов, которое затем может быть практически реализовано в эксперименте при устранении техническим путем побочных влияний.

Например, Галилей, проверяя закон свободного падения тел, использовал шарик, выполненный из столь твердого материала, что практически не деформировался при падении. Кроме того, стремясь устранить трение, он оклеил наклонную плоскость отполированным пергаментом. В качестве теоретической схемы этот технически изготовленный объект представляет собой наклонную плоскость, т. е. абстрактный объект, соответствующий некоторому классу реальных объектов, для которых можно пренебречь трением и упругой деформацией. В то же время он представляет собой объект оперирования, замещающий в определенном отношении реальный объект, с которым осуществляются различные математические действия и преобразования.

Таким образом, *абстрактные объекты*, входящие в состав теоретических схем прежде всего математизированных теорий, представляют собой результат идеализации и схематизации экспериментальных объектов или, в более широком контексте, любых объектов предметно-орудийной (в том числе экспериментальной и инженерной) деятельности.

---

<sup>37</sup> Максвелл Д. К. Речи и статьи. М.: Наука, 1967, с. 69.

Например, схематические изображения диполя, вибратора и резонатора, введенные Герцем, были необходимы ему для представления реальных экспериментов. В настоящее время для получения электромагнитных волн и измерения их параметров используются соответствующие радиотехнические устройства и, следовательно, понятия и схемы, их описывающие, служат той же цели, поскольку по отношению к электродинамике эти устройства выполняют функцию экспериментальной техники. Однако в то же время эти устройства являются объектом конкретной инженерной деятельности, а их абстрактные схематические описания по отношению к теоретическим исследованиям в радиотехнике выполняют функцию теоретических моделей.

Содержательный методологический анализ становления физической теории позволил выделить следующие основные типы теоретических схем с точки зрения их формирования и общности: частные, общенаучные (фундаментальные) теоретические схемы, а также специальные и обобщающие научные картины мира. Естественнонаучная и общенаучная картины мира являются результатом синтеза специальных картин мира при определяющей роли философских идей и принципов. Общенаучная картина находится как бы над дисциплинарной организацией науки. Специальные картины мира различных наук (физики, химии, биологии, астрономии и др.) обусловлены синтезом знаний внутри отдельных отраслей науки: основаниями теории данной науки и эмпирическим слоем знаний<sup>38</sup>.

Формирование теории (в условиях развитой науки) начинается, как правило, с использования (в качестве исходной) теоретической модели из какой-либо другой, более разработанной области науки с соответствующей корректировкой.

Например, Галилей заимствовал геометро-кинематическую схему из астрономии, в которой в наиболее чистом виде рассматривались движения небесных тел по идеальным кривым в соответствии с теоремами и постулатами евклидовой геометрии; перестройка данной модели осуществлялась за счет конструктивного введения новых идеальных объектов<sup>39</sup>.

На ранних стадиях развития науки теоретические модели создаются в процессе непосредственной схематизации опыта. Затем эти исходные модели используются в качестве средств построения новых теоретических моделей, и такой способ становится определяющим в развитии науки. Это, конечно, не означает прекращения схематизации нового эмпирического материала — она осуществляется, но через призму накопленных прошлыми поколениями ученых и апробированных практикой моделей.

Частные теоретические схемы соответствуют отдельным исследовательским направлениям или областям исследования и составляют «островки» достаточно разработанного теоретического знания, общенаучные теоретические схемы соответствуют научно-техническим дисциплинам или даже семействам таких дисциплин, группирующимся

---

<sup>38</sup> См. указанные работы В.С. Степина.

<sup>39</sup> Духтин А.В. История принципов физического эксперимента (от античности до XVII века). М.: Наука, 1976.

вокруг какой-либо одной базовой технической науки. В этом случае обобщенная теоретическая схема становится универсальной для данного класса технических систем за счет введения процедуры синтеза, позволяющей проецировать эту схему на класс потенциально возможных (гипотетических) технических систем определенного типа.

Частной теоретической схемой, например, были разработанная Гюйгенсом теория изохронного качания маятника или теория электричества в дофарадеевский период.

Обобщенные теоретические схемы создаются на базе обобщения и объединения различных частных теоретических схем.

В научной теории различают три основных вида теоретических схем: функциональные, поточные и структурные (рис. 45).

*Функциональная схема* фиксирует общее представление об исследуемой естественной или искусственной системе независимо от способа ее реализации и является общей для целого класса таких систем. Блоки этой схемы фиксируют только те свойства элементов системы, ради которых они включены в нее для выполнения общей цели, и выражают обобщенные математические операции, а отношения между ними — определенные математические зависимости. В классической науке функциональные схемы привязаны к определенному типу физического процесса (или режиму функционирования, если речь идет об искусственной, технической системе) и отождествляются с какой-либо математической схемой или уравнением. Однако они могут быть выражены и в виде декомпозиции взаимосвязанных функций, направленных на выполнение общей цели, предписанной данной системе, на основе которой строится алгоритм функционирования этой системы и выбирается ее конфигурация.

*Поточная схема* фиксирует естественные, например физические (электрические, механические, гидравлические и др.) процессы, происходящие в исследуемой системе, т. е. ее функционирование, и опирается на естественнонаучные, например физические, представления. Она может описывать любые естественные процессы — химические, биологические, а в общем случае и любые потоки субстанции (вещества, энергии, информации). Стационарные состояния рассматриваются в данном случае как вырожденный частный случай процесса.

*Структурная схема* исследуемой системы фиксирует конструктивное расположение ее элементов и связей, т. е. ее структуру с учетом предполагаемого способа реализации, и представляет собой теоретический набросок этой структуры с целью создать проект эксперимента, т. е. будущей экспериментально-измерительной ситуации вместе с экспериментальным оборудованием, призванным реализовать данный эксперимент, или теоретическое описание существующей экспериментальной системы с целью ее теоретического расчета и усовершенствования. Эти схемы строятся на основе представлений специализированных знаний. В частном случае структурная схема в идеализированной форме отображает техническую реализацию физического процесса в эксперименте.



В естественнонаучной теории главное внимание уделяется не структурным, а поточным схемам, т. е. объяснению и предсказанию хода естественных процессов. Функциональные (математические) схемы и структурные схемы эксперимента выполняют в данном случае вспомогательную роль.

Структурные теоретические схемы в естественных науках, как правило, менее развиты, смешиваются часто с практическим описанием экспериментальных ситуаций и поэтому обычно выпадают из сферы методологического анализа естественнонаучной теории.

Наиболее рельефно соотношение математической (функциональной) схемы (геометрическая кривая, которую описывает маятник в часах, циклоиды), поточной схемы (представления физического процесса качания маятника) и структурной схемы (конструкция часов) прослеживается в теории изохронного качания маятника Христиана Гюйгенса. Гюйгенс фактически реализовал путь приложения научных знаний, намеченный Галилеем: от математической, геометрической схемы (циклоиды) к физическим представлениям и процессам (качание маятника) и от них к структурной схеме — конструкция часов<sup>40</sup>. Гюйгенс продемонстрировал, каким образом полученное в теории и эксперименте соответствие абстрактного и реального объектов можно использовать в технических целях. Тем самым и Гюйгенс, и Галилей целенаправленно применяли научные знания, что и составило основу инженерного мышления и технической науки. Те же самые механизмы были внесены ими в физическую теорию, в которой главной остается схема физического процесса (поточная схема), а не структурная схема нового технического или экспериментального устройства.

### *Генезис естественнонаучной теории*

Становление естественнонаучной теории рассматривается в содержательно-методологических исследованиях как последовательное построение определенных теоретических схем и разделяется на две фазы<sup>41</sup>. На первой фазе разрабатываются поточные теоретические схемы, которые представляют собой еще отдельные «островки» теоретического исследования, частные теоретические модели. На второй фазе происходит собственно построение научной теории на уровне функциональных схем, обобщающих первоначальные частные теоретические схемы, на базе выявления принципов, составляющих основу теории, и применения дедуктивного преобразования данных схем. Каждая из этих фаз может быть разделена на несколько этапов. В качестве эмпирического материала данного исследования может быть использована классическая теоретическая механика как образцовый пример естественнонаучной теории.

Традиционные методологические схемы построения теории:

- *эмпиризм*, т. е. рассмотрение возникновения теории как результата постепенного обобщения уже имеющихся экспериментальных данных;

<sup>40</sup> *Huygens Ch.* Die Pendeluhr. Horologium oscillatorum. Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann, 1913.

<sup>41</sup> *Степин В. С.* Становление научной теории. Минск: Наука, 1976



*конвенционализм*, т. е. рассмотрение возникновения теории как следствия произвольного выбора теоретических представлений на базе соглашения исследователей с последующим предъявлением экспериментального материала, обосновывающего эти представления и объясняемого с их точки зрения, — сегодня уже не рассматриваются как альтернативные концепции.

Проведенный в современной методологической литературе на фактическом историко-научном материале подробный методологический анализ генезиса физической теории позволяет сделать вывод, что формирование естественнонаучной теории — это итерационный процесс многократного движения от теории к эмпирии и обратно. «В развитой науке теоретические схемы вначале строятся как гипотетические модели. Только на ранних стадиях научного исследования, когда осуществляется переход от преимущественно эмпирического изучения объектов к их теоретическому освоению, конструкты теоретических моделей создаются путем непосредственной схематизации опыта. Но затем они используются в качестве средств для построения новых теоретических моделей, и этот способ начинает доминировать в науке. Прежний же метод сохраняется только в рудиментарной форме — он используется главным образом в тех ситуациях, когда наука сталкивается с объектами, для теоретического освоения которых еще не выработано достаточных средств. Тогда объекты начинают изучаться экспериментальным путем, и на этой основе постепенно формируются необходимые идеализации как средства для построения первых теоретических моделей в новой области исследования. Большинство теоретических схем науки конструируются не за счет прямой схематизации опыта, а методом трансляции уже созданных абстрактных объектов»<sup>42</sup>.

Таким образом, на первом этапе формирования научной теории идеальные объекты и даже целые теоретические схемы заимствуются из смежных теоретических областей. Галилео Галилей, например, допуская идентичность земных и небесных явлений, заимствовал первоначальную теоретическую модель — геометро-кинематическую схему — из астрономии, где в наиболее чистом виде рассматривались движения небесных тел по идеальным кривым в соответствии с постулатами и теоремами евклидовой геометрии<sup>43</sup>. Эта модель фактически является поточной схемой, отображающей естественный процесс — движение материальных точек по определенным траекториям с известной скоростью и ускорением, — и в то же время соответствует абстрактным математическим объектам евклидовой геометрии (геометрической точке и различным геометрическим фигурам, с помощью которых можно описывать траекторию ее движения, например по параболической кривой). Задача Галилея заключалась в том, чтобы использовать исходную геометро-кинематическую схему для описания и предсказания природных явлений.

<sup>42</sup> Степин В. С. Указ. соч., с. 100.

<sup>43</sup> Дхутин А. В. Указ. соч.

После выбора исходной теоретической модели следует процесс ее длительной адаптации путем наложения на определенный эмпирический материал, сопровождающийся перестройкой исходной модели за счет конструктивного введения новых идеальных объектов. Такого рода деятельность осуществляется в результате разработки различных структурных схем реальных экспериментов, адекватных выбранной поточной схеме. Данную работу проводили последователи Галилея, «открывая новые свойства наклонной плоскости, маятника, баллистической кривой и изобретая новые механико-геометрические объекты»<sup>44</sup>. Это делал и сам Галилей: когда ему, например, надо было построить идеализированную схему эксперимента для наблюдения за падением тел, в которой действие одной причины — сопротивление воздуха — отделено от действия другой причины — силы тяжести, он построил модель качания маятника<sup>45</sup>. На этом этапе строятся различные частные теоретические схемы, объединяемые на последующих этапах в единую теорию.

Формирование естественнонаучной теории классического типа завершается построением обобщенной онтологической схемы и математизированной теории.

На практике и выбор исходной теоретической модели, и ее последующая перестройка были не одномоментным актом, а довольно длительным процессом, в котором принимали участие различные ученые и который также прошел несколько этапов:

установление соответствия функциональной и поточной теоретических схем (геометрическое представление физических понятий: калькуляторы и теория «конфигурации качеств» Николая из Орезма);

установление соответствия поточной и структурной теоретических схем (учение о магните Вильяма Гильберта);

установление соответствия функциональной, поточной и структурной теоретических схем (на примере учения Галилео Галилея);

разработка частных теоретических моделей (на примере теории изохронного качания маятника Христиана Гюйгенса);

разработка обобщенной онтологической схемы и математизированной теории (теоретическая механика Исаака Ньютона).

Рассмотрим эти этапы.

*Установление соответствия функциональной и поточной теоретических схем (геометрическое представление физических понятий: калькуляторы и теория «конфигурации качеств» Николая Орезма<sup>46</sup>)*

Аристотелевская физика была качественной наукой, и проблема математического описания физических явлений стала всерьез рас-

<sup>44</sup> Ахутин А. В. Указ. соч., с. 229.

<sup>45</sup> Розинг Б. Л. На заре положительного знания (Галилей, Гюйгенс, Ньютон). Пг.: Наука и школа, 1924, с. 15.

<sup>46</sup> Николай из Орезма (ок. 1323–1382), называемый чаще всего просто Орезм (или Орем), является учеником Иоанна Буридана, бывшего ректором Парижского университета (см.: Weileitner H. Über den Funktionsbegriff und die graphische

смагиваться лишь в средние века в связи с проблемой изменения интенсивности качеств. В схоластической науке XIV в. начинают различать количественное возрастание и уменьшение (например, в связи с объединением двух множеств или разъединением одного тела на несколько меньших по размеру тел) и качественное усиление (*intensio*) и ослабление (*remissio*) — если, скажем, какое-либо тело становится теплее или поверхность темнее. В последнем случае, который и становится предметом основного обсуждения, возникает множество вопросов: что же изменяется — само качество, его мера или одно качество заменяется другим? как это новое качество взаимодействует с уже содержащимся в теле качеством? и др. Средневековые ученые со свойственной им тщательностью рассматривают всевозможные качества тел — от теплоты и цвета до доброты, греха и мудрости. Нас в данном случае интересует лишь одно такое качество — движение. Так же, как цвет не существует отдельно от окрашенного тела, движение не признается в качестве самостоятельной реальности наряду с движимым телом, а воспринимается как качество, т. е. чисто кинематически. При этом скорость рассматривается как интенсивность движения, а ее усиление (*intensio*) — как ускорение. Именно с этой проблемой интенсивности качеств и была связана первая попытка так называемых калькуляторов придать качественным физическим понятиям и процессам количественное описание. Учение калькуляторов, основателем которого является Томас Брэдвардин, было развито в оксфордском Мертон-колледже и получило название «*Calculaciones*». Сторонники этого учения пытались применить арифметическую и алгебраическую аргументацию не только к естественнонаучным, но и к философским и даже теологическим проблемам<sup>47</sup>.

Следующий важный шаг на этом пути сделал Николай Орезм, который в своем труде «О конфигурации качеств» вместо алгебраически-арифметических поставил в соответствие качественным понятиям аристотелевской физики графические (геометрические) представления для математического описания интенсивности качеств. В результате он наметил геометризацию физики Аристотеля и физикализацию геометрии Евклида, что способствовало формированию у Галилея идеи

---

Darstellung bei Oresmus. In: Bibliotheca Mathematica, 1914, 3. Folge, Bd. XIV; Dingler H. Über die Stellung von Nicolas Oresme in der Geschichte der Wissenschaft. In: Archeon, 1929, Vol. 1929; Durand D.B. Nicole Oresme and the Medieval Origins of Modern Science. In: Speculum, 1941, Vol. XVI, no. 1; Clagett M. Science of Mechanics in the Middle Ages. London: Oxford University Press, 1959). Его работа «О конфигурации качеств» была опубликована между 1350 и 1360 гг.

<sup>47</sup> Следует иметь в виду, что в алгебре еще не применялась в современном смысле буквенная математическая символика. Буквы использовались лишь для обозначения изменяющихся величин, чтобы зафиксировать нечто в мышлении. Этот метод применялся для самых различных понятий, в том числе вообще не поддающихся количественному определению, а также для тех понятий и процессов, где такое математическое описание было весьма продуктивным, — прежде всего в учении о движении. Причем обнаружилось огромные трудности описания природных процессов на языке математики (см.: Dijksterhuis E.J. Die Mechanisierung des Weltbildes. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag, 1956, S. 209–217).

математизированной физической теории. Более того, если для античности изменение было символом земного, небожественного, недоступного подлинно научному описанию, то Орезм открыл науку об изменяющемся, что весьма важно, поскольку физической объект может быть выражен геометрически, а геометрический — физически. Например, геометрическая точка может двигаться по геометрической фигуре — «линии предмета» (траектории). Фактически Орезм соотносит функциональную (математическую, геометрическую) теоретическую схему с физическими представлениями и процессами, т. е. с поточной теоретической схемой: «неделимая точка есть что-либо реальное, не линия, не поверхность, хотя воображение их пригодно для лучшего постижения меры вещей — мера двух любых линейных или поверхностных качеств, так же, как и скоростей, соответствует мере и отношению фигур, посредством которых они в воображении сравниваются друг с другом. Итак, чтобы найти меру качества или скорости и определить их отношения, нужно довериться геометрии и вернуться к геометрии»<sup>48</sup>.

Орезм впервые поставил вопрос о том, как должно отображаться движение (естественный процесс) на статической геометрической схеме. «Всякая вещь, поддающаяся измерению ... воображается в виде непрерывной величины. Следовательно, для ее измерения нужно вообразить точки, линии и поверхности. И даже если неделимые точки или линии — ничто, тем не менее их нужно вымыслить для познания мер вещей и их отношений»<sup>49</sup>. Именно с таких позиций Орезм описывает интенсивность качеств: равные интенсивности обозначаются равными линиями, вдвое большая интенсивность — вдвое большей линией и т. д. Экстенсивность любого качества он называет широтою (*latitudo*) качества, которая обозначается на геометрической схеме линией, проведенной через предмет. Отвесная линия будет тогда обозначать интенсивность, долготу (*longitudo*) качества. Орезм фактически предлагает разработку средств адекватного отображения в математических схемах природных, естественных процессов: «... в вещах последовательных, каковыми являются движение, звук и т. д., — протяжение их во времени должно было бы называться широтою, а их интенсивность долготою». Причем, по его мнению, воображать или изображать отношения между качествами — это познавать действительные отношения между этими качествами. Цель графического представления состоит в том, чтобы быстрее, легче и явнее оценивать в виде плоской фигуры то, что «быстро и вполне схватывается воображением ... Ведь воображение фигур значительно помогает постичь вещи»<sup>50</sup>. Однако для постижения процессов, протекающих в природе, необходимы и адекватные математические средства.

---

<sup>48</sup> Орезм Н. «О конфигурации качеств». В кн.: Историко-математические исследования. Вып. XI. М.: ГИФМЛ, 1958, с. 703–703.

<sup>49</sup> Там же, с. 637.

<sup>50</sup> Там же, с. 642.

Орезм вводит понятие текущей точки (*punctus fluens*), которая, двигаясь вдоль линии, фактически порождает линию. Именно так возникает фигура линейного, т. е. изменяющегося вдоль прямой, качества, которое изображается в виде некоей плоскости, расположенной вертикально на линии предмета (ее высота пропорциональна интенсивности этого качества)<sup>51</sup>. Такая «воображаемая фигура» и представляет собой принципиально новый абстрактный объект, введенный Орезмом в его теорию конфигурации качеств, поставленный им в четкое соответствие естественным процессам, происходящим в природе и наиболее адекватно выражаемым кинематическим представлением (т. е. фактически поточным схемам)<sup>52</sup>. Получаемой им на геометрическом чертеже фигуре (*configuratio* или *figuratio*) присваивается самостоятельное физическое значение. Точно так же, как, например, жгущее воздействие огня объяснялось атомистами остротой углов атомов огня, геометрическая конфигурация качества считается «основой специфического поведения представляемого ей качества. Она представляет нечто большее, чем наглядную модель для того, как изменяется интенсивность рассматриваемого качества при сдвиге вдоль *longitudo*, она является в определенном смысле, а именно с точки зрения внешнего облика, самим этим качеством, рассматриваемым как целое». *Configuratio* замещает в теории реальный объект исследования (вернее, его поточное, кинематическое представление, если речь идет о движении). В данном контексте становится понятным такое парадоксальное словоупотребление, как «прямоугольная теплота» (*longitudo*, имеющая в любой точке равную температуру), которая «имеет иной смысл, чем трехугольная теплота или та, границы которой

<sup>51</sup> Кроме линейного качества Орезм вводит также понятие плоскостного и телесного качества. Плоскостное качество «должно быть воображаемо в виде телесной фигуры, расположенной по отвесу на поверхности, наделенной качеством, как бы на своем основании. Понятие об этой фигуре можно получить из познания плоских фигур. Кроме того, «... в любом вообще роде трехмерных фигур может быть воображаемо или изображаемо какое-либо телесное качество», распределенное по всем трем измерениям материального тела (см.: Орезм Н. Указ. соч., с. 664–665). Применение этого метода ко всем точкам какого-либо тела могло логически привести к 4-мерному качеству, однако «Орезм считает это немислимым и довольствуется соподчинением 3-мерного качества каждому из бесконечно малых плоских срезов тела» (см.: Dijksterhuis E.J. *Die Mechanisierung des Weltbildes*. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag, 1956, S. 218).

<sup>52</sup> Гораздо позже такой способ образования плоскости движением линии рассматривает в своей начертательной геометрии Гаспар Монж, который особо подчеркивает кинематическое происхождение поверхностей: «Представим себе в пространстве две параллельные кривые двойкой кривизны и положим, что прямая, оставаясь параллельной неподвижной плоскости, движется так, что она все время опирается на эти две кривые; таким образом, характер движения этой прямой будет определен, и кривая поверхность, образованная движением прямой, уже в силу того только, что она получена указанным образом, будет обладать некоторым свойством, не зависящим от природы обеих кривых, которые направляют движение прямой; аналитическое выражение этого свойства даст общее уравнение поверхностей, полученных с помощью указанного способа образования» (см.: Боголюбов А.Н. Гаспар Монж. 1746–1818. М.: Наука, 1978, с. 99–100).

имеют нерегулярный вид»<sup>53</sup>. Причем этот абстрактный объект — *configuratio* — становится объектом оперирования на соответствующей геометрической — математической (функциональной) — схеме: «доказательство производится на геометрических фигурах ... посредством которых они в воображении сравниваются друг с другом». Например, «если определенное качество изображается посредством одного треугольника, то вдвое более интенсивное того же рода должно быть обозначено посредством более высокого треугольника»<sup>54</sup>.

Чтобы представить на этих геометрических схемах природный процесс, необходимо «воображать движение» некоей точки *d*, равномерно движущейся по линии *ab* (рис. 46а), причем различные виды такого движения отображают и разные виды дифформности качеств. Резем описывает, каким образом должен осуществляться переход от математической (функциональной) схемы к поточной схеме, с помощью которой можно легче понять проблему равномерности и дифформности кривизны окружности «посредством образа одного лишь движения, нежели посредством фигуры». Одно и то же движение или, в более общем виде, «течение (*fluxus*) определяется и измеряется различно»: например, «при круговом движении *o* движущемуся говорят, что оно движется и что оно круговращается», причем интенсивность скорости такого продвижения определяется отрезком пути, пройденным с данным градусом скорости, а интенсивность градуса скорости кругового движения — углами, которые образуются в центре окружности. Так же и при прямолинейном движении (скажем, если объект опускается) скорость движения определяется пройденным путем, а скорость опускания — приближением к центру.

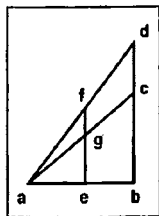


Рис. 46а.

Проблема равномерности-дифформности качеств и скоростей находится в центре внимания не только Резема, который пытается дать с помощью своего геометрического метода обозримое представление известному и применяемому еще калькуляторами понятию равномерности — *uniformitas* (равномерности) и дифформности — *difformitas* (неравномерности). Качество считается равномерным — равномерно распределенным, — если его интенсивность во всех пунктах имеет равное значение, в противном случае оно является дифформным — неравномерно распределенным. В главах 12–16 трактата «О конфигурации качеств» Резем дает геометрическую интерпретацию равномерности-дифформности качеств-скоростей и на этой основе подробную их классификацию. «Если ... при начале движения точка *d* имеет какой-нибудь градус и какую-нибудь интенсивность, непрерывно и неизменно пребывая в том же градусе во время указанного движения, то она опишет на линии *ab* равномерное качество. Если же в начале движения точка *d* вовсе не имеет означенного качества и во время движения эта точка *d* непрерывно изменяется и равномерно интенсифицируется, то тогда она начертает качество равномерно-дифформное, кончающееся на неградусе. Если *d* интенсифицируется равномерно, имея в начале движения то или иное качество (т. е. интенсивность), то тогда точка начертает равномерно-дифформное качество, кончающееся по обе стороны на градусе. Если же *d* движется равномерно, а интенсифицируется или ослабевает неравномерно, либо, наоборот — точка *d* начертает качество дифформно-дифформное» (рис. 46б).

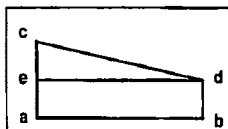


Рис. 46б.

<sup>53</sup> Dijksterhuis E.J. Die Mechanisierung des Weltbildes. Berlin, Göttingen, Heidelberg: Springer-Verlag, 1956, S. 219.

<sup>54</sup> Резем Н. Указ. соч., с. 649, 703, 706.

Далее Орезм различает простую и сложную дифформность. «Простая дифформность — это та, которая может быть обозначена посредством такой фигуры, чья линия верхнего края, или линия интенсификации, — одна и не состоит из многих частей.

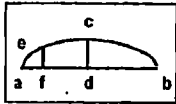


Рис. 46в.

Следовательно, она должна быть кривой линией». Он различает также виды простой дифформности и соответствующие им фигуры: рациональная выпуклая и вогнутая, иррациональная выпуклая и вогнутая; сложные дифформности образуются соединением из нескольких простых фигур (рис. 46в). Причем «к постижению различия этих видов дифформности качества, — подчеркивает Орезм, — мы не можем прийти иначе, как

путем аналогий и пользования образами фигур»<sup>55</sup>. Говоря о движении как естественном процессе, Орезм рассуждает следующим образом: «пусть из покоящегося центра *a* проведена линия, или диаметр *ab*; представим себе, что он обращается или движется. Коль скоро, следовательно, точка *s* непрерывно пребывает на конце вращаемого радиуса, эта точка *b* (или *c*) опишет равномерную кривую, т. е. дугу окружности. Если же точка *s* станет непрерывно опускаться по диаметру, приближаясь к центру *s* — равномерной скоростью, пока радиус продолжает равномерно обращаться, я утверждаю, что тогда точка *s* опишет равномерно-дифформную кривую ... которую математики называют спиралью»<sup>56</sup> (рис. 47).

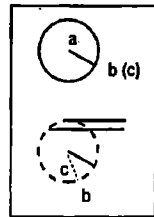


Рис. 47.

Таким образом, Орезм постоянно переходит от геометрических (функциональных) схем к кинематическим (поточным) и обратно, понимая при этом, что речь идет об оперировании абстрактными объектами, существующими только в теории, но четко соответствующими реальным объектам. Такое графическое изображение — весьма удобный инструмент для теоретических рассуждений. «Следовательно, к постижению дифформностей скоростей мы можем прийти посредством воображения линий и фигур. Начертим, к примеру скорость, прямую линию *ab*, и пусть движется подвижное *d* в течение времени *ef* каким-либо образом, криволинейным или прямолинейным движением (т. е. в высоту), и пусть оно находится на линии *ab* или какой-либо другой. Восставим по всей линии *ab* перпендикуляры в плоскости, каковая плоскость или площадь по своей высоте пропорциональна скорости *d* по интенсивности. Я утверждаю тогда, что этой плоскости или площади может быть уподоблена скорость движущегося *d* и удобно воображаема посредством нее так, что линия *ab*, являющаяся длиной этой фигуры, будет обозначать интенсивность в другом измерении той же скорости»<sup>57</sup>.

Именно проводя доказательства на этих схемах, и нужно «довестись геометрии». В другом своем труде — «Вопросы к Элементам Евклида» (комментариях к геометрии Евклида) Орезм избрал путь, обратный тому, который он использовал в трактате «О конфигурации качеств». «Там качества составляют исходный пункт и соответствующие фигуры конструируются шаг за шагом в точном соответствии» с исходными, например кинематическими схемами, репрезентирующими в его теории реальные естественные движения. В «Вопросах к Элементам Евклида» «исходным пунктом являются геометрические фигуры, и для них сначала разъясняется, что понимается под униформным и дифформным. Затем следует перенос на качества и

<sup>55</sup> Орезм Н. Указ. соч., с. 654–663.

<sup>56</sup> Там же, с. 674.

<sup>57</sup> Там же, с. 691.

скорости»<sup>58</sup>. Независимо от конкретных результатов в естествознании, которые получил Орезм, его метод оказался весьма продуктивным и привел в конечном счете к созданию математизированной физической теории. Нужно только отдавать себе отчет в том, что это лишь первый, но необходимый шаг в данном направлении<sup>59</sup>.

В трактате «О конфигурации качеств» Орезма, правда, вообще не идет речи о соотношении математической, т. е. функциональной (геометрические фигуры), и поточной (физические представления и процессы, например движение) теоретических схем с экспериментально-технической деятельностью. (Эту работу совершил Вильям Гильберт, у которого, однако, отсутствует интенция на геометризацию физических представлений.) Орезм соотносит лишь эти две указанные схемы — точка, движущаяся по геометрической линии, имитирует движущееся физическое тело. Однако, критикуя теорию импетуса Иоанна Буридана, он опирается на тогдашний технический опыт — разработанный в Западной Европе новый механизм часов, получивший широкое признание.

Развивая теорию импетуса Иоанна Буридана<sup>60</sup>, Николай Орезм пытается распространить свое новое понимание принципа импетуса на все искусственные и естественные движения. Критикуя принятие Буриданом зависимости скорости движения от интенсивности импетуса, он многократно подчеркивает, что от интенсивности внутренней силы зависит не скорость, а в любом случае ускорение, т. е. рост скорости. Этот акцент на ускорении является не случайным и непосредственно связан с изменениями в тогдашней технической практике<sup>61</sup>.

Впервые в XIII в. во Франции по указанию Карла V были установлены новые часы (еще не маятниковые, а использующие колеблющуюся балку с приложенными к ней

---

<sup>58</sup> Maier A. An der Grenze der Scolastik und Naturwissenschaft. Roma, 1952, S. 345–346.

<sup>59</sup> Майер достаточно четко и кратко формулирует как несомненные достижения Орезма в этой области замещение арифметических операций геометрическими конструкциями, «открытие того, что качество в своей равномерности или дифформности не только представляется с помощью некоторой фигуры, но и того, что эта фигура одновременно означает реальную (телесную) конфигурацию качества», а также то, что сущность физической субстанции познается «не только через интенсивности основных качеств, но и посредством их конфигурации» (Maier A. Указ. соч., S. 274, 312).

<sup>60</sup> Теория импетуса была выработана для объяснения движения свободно брошенного в воздух тела. Иоанн Буридан отвергает все рассуждения античности по этому поводу. Согласно его собственной теории причина движения брошенного в воздух тела находится в нем самом: «Итак, вот что, как мне кажется, нужно утверждать: в то время как двигатель движет движимое, он запечатлевает в нем некое «импето», некую силу, способную двигать это движимое в том же направлении, в котором двигатель движет движимое, безразлично, будет ли это вверх, вниз, в сторону или по окружности. И чем больше скорость, с которой двигатель движет движимое, тем сильнее импето, которое он в нем запечатлевает» (Гуковский М.А. Механика Леонардо да Винчи. М.-Л.: АН СССР, 1947, с. 182).

<sup>61</sup> На этот факт указывает Михаил Вольф: на результаты проведенного им анализа мы будем ссылаться и далее (Wolf M. Geschichte der Impetustheorie. Untersuchungen zum Ursprung der klassischen Mechanik. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1978, S. 230–244).



регулируемыми гириями) — сначала в Париже на башне Дворца юстиции (с надписью: «Эта машина разделяет день на двенадцать частей так точно, что учит соблюдать справедливость и законы»), а затем повсеместно, как обычные городские часы. Главной технической проблемой при конструировании этих часов было торможение одного из колес, приводимых в движение грузом. Механические часы и мельница, приводимая в движение водой, были старейшими машинами, в которых искусственное движение, производимое человеком, было заменено естественным движением, т. е. приведением механизма в движение падающим телом (грузом в часах или силой падающей воды в мельнице). Однако до Орезма естественное движение еще не понималось как передача силы. «Это особенно бросается в глаза, если рассмотреть понятийные модификации, которые вводит Орезм в теорию импетуса Буридана и которые также следует рассматривать как следствие расширения технического поля зрения. Движущая сила, которая уравнивает движение часов в области остающейся равномерной скорости, может мыслиться только как ускоряющаяся. И сохраняющаяся равномерная скорость достигается лишь с помощью торможения этой силы. Теория импетуса Орезма может рассматриваться как обобщение той мысли, что физическое действие импетуса является ускорением движения. То, что бросание является действием с начальным ускорением, не является лишь простым допущением, которое Орезм лишь предполагает, чтобы поддержать его впоследствии своими понятийными конструкциями, а следствие более глубоких оснований. Ранние формы машины, мельница и часы выполняют в этом случае парадигматические функции в плане развития теории импетуса»<sup>62</sup>.

Импетус по Орезму — это внутренняя сила, находящаяся в самом теле некоторое двигательное качество, посредством которого телу сообщается увеличение скорости. Именно за счет роста скорости тело обретает новое качество движения, некую силу, помогающую естественному движению и двигающую насильственно двигаемую вещь после ее отделения от движителя. Распространяя это представление на все виды местного движения, в том числе и небесного, Орезм приближается к представлению ньютоновской механики, но для него в отличие от Ньютона переносимая сила длительное время сохраняется в движущемся теле и является внутренне присущей ему причиной движения.

В связи с этим Орезм формулирует одно из первых в истории космологии представлений о движении небес, аналогичном ходу механизма часов. Такая аналогия становится весьма распространенной значительно позже — в XVII—XVIII вв. По Орезму, наличие импетуса (своего рода «импетусность») вызывает во всяком движении, кроме небесного (которое является неускоренным), увеличение скорости. «Вероятно, Бог, создавая небесные тела, поместил в них двигательные качества и силы, так же, как в земные вещи он поместил тяжесть и сопротивление этим движущим силам. ... Эти силы так отмерены и подобраны против данных сопротивлений, что движения происходят без какого-либо вмешательства, не считая вмешательства, аналогичного тому, которое осуществляет человек, изготовивший часы и предоставивший их идти самим по себе. Так Бог предоставил небесным телам непрерывно двигаться»<sup>63</sup>. Это описание сделано почти по Ньютону: Бог создал мировой часовой механизм, но не вмешивается в его

<sup>62</sup> Wolf M. Geschichte der Impetustheorie. Untersuchungen zum Ursprung der klassischen Mechanik. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1978, S. 244.

<sup>63</sup> Там же, S. 239.

движение, а лишь время от времени подзаводит его. Аналогия, приводимая Орезмом, соответствует наиболее раннему употреблению часов, которые применялись скорее не для измерения времени, а для представления Космоса. Циферблат часов короля Кастилии Альфонса, например, был выполнен в виде астролябии. Первоначально часовые механизмы вызвали интерес в основном как способ получения автоматического движения, а не как показатели времени. Перед средневековыми часовщиками стояла техническая задача согласовать ход часов с ежедневными небесными движениями. Именно эта, казалось бы, чисто техническая задача породила идею «сравнения небесных движений с механически созданным равномерным ходом»<sup>64</sup>. Это объясняет и поправку к теории импетуса Буридана, поскольку именно за счет выравнивания ускоряющегося движения падения (груза часов) и механического торможения возникает равномерное круговое движение. Это гармонизирующее взаимовлияние тормозящего и ускоряющегося движений рассматривается Орезмом как причина равного кругового движения и на небе. «Орезм, таким образом, полностью порывает с традиционным школьным мнением, согласно которому только движения в подлунном мире могут опираться на сопротивление и именно свобода от сопротивления является условием равномерности небесных движений»<sup>65</sup>. Следует, однако, подчеркнуть, что догадка Орезма не вышла за рамки идеи и не переросла в последовательную теоретическую схему.

С этими идеями связана и развиваемая Орезмом концепция свободного падения. По его мнению, тяжесть в полном соответствии с теорией Буридана является внешней причиной движения движущегося тела, но это произведенное тяжестью состояние движения представляет собой не скорость (как утверждал Буридан), а ускорение, из которого и возникает импетус, вызывающий, в свою очередь, дополнительное ускорение. В полном соответствии с ускоряющимся движением часовой гири, которая сначала как бы застывает на секунду, а потом начинает раскручиваться при бешеном ускорении движения механизма часов (если нет торможения), после очень небольшого промежутка времени в любом движении свободного падения ускорение

непрерывно возрастать по сравнению с начальным ускорением. Но чем больше ускорение, тем интенсивнее импетус. Графически скорость движения падения, по Орезму, может быть представлена не как равномерно растущий ступенчатый ряд, соответствующий теории Буридана, а как возрастающая кривая со ступенчатыми углами на концах мельчайших отрезков времени (рис. 48). Дискретным является, таким образом, здесь уже не градус скорости, а градус ускорения.

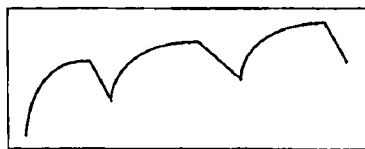


Рис. 48

<sup>64</sup> Wolf M. Указ. соч., S. 242.

<sup>65</sup> Там же, S. 240.

С точки зрения Орезма, при искусственном движении бросания происходит то же самое, только в этом случае ускорение не возрастает, а уменьшается, поскольку первоначальная причина движения — бросающая что-либо рука или какой-то инструмент — отделяется от движущегося тела. Сопротивление воздуха все более уменьшает ускорение и редуцирует импульс. В данном пункте естественное (природное) и искусственное (насильственное) движения теряют свою специфику и рассматриваются одинаково. Орезм выделяет несколько состояний насильственного движения:

движущийся предмет (например, пушечный снаряд) еще связан с инструментом, производящим насилие. В этом случае скорость, как и возрастание скорости, растет;

насильственно движимое тело отделяется от инструмента-двигателя. В этом случае скорость все еще растет, но возрастание скорости (ускорение) уменьшается и в конце концов исчезает. Сопротивление воздуха и тяжесть движущегося тела ослабляют и разрушают импульс;

самую существенную роль начинает играть естественное качество движущейся вещи, т. е. ее естественная тяжесть. Происходит непрерывное уменьшение неестественного качества движущегося тела, противостоящего его естественному движению. Движение замедляется, а насилие сначала уменьшается, а затем и вовсе исчезает. Импульс постепенно уничтожается;

четвертое состояние насильственного движения Орезм специально не выделяет, поскольку искусственно созданный импульс больше не принимает никакого участия в нем. Происходит естественное движение тяжелого тела (в данном случае снаряда) к своему «естественному месту».

В данном случае Орезм приводит характерный пример, который позднее использует Галилей для одного из своих знаменитых мысленных экспериментов. Сравним эти два мысленных эксперимента.

*Мысленный эксперимент Орезма*, сюжет для которого он заимствовал у Альберта Саксонского, ученика Иоанна Буридана, формулируется следующим образом.

Тяжелое тело, свободно падающее по трубе, которая проходит через центр Земли, остановилось бы в центре Земли не внезапно само по себе, а стало бы снова двигаться вверх в противоположном направлении. Движение в противоположном направлении — именно это и должен прояснить данный мысленный эксперимент — не может быть объяснено собственно тяжестью тела, поскольку движение в обратном направлении не является естественным движением тяжелого тела. «Импульситет — это искусственно созданное им слово используется для выражения свойства какого-нибудь тела, которое приходит в движение от заключенной в нем внутренней силы — в собственном смысле слова не является тяжестью, так как если бы существовало отверстие отсюда до центра Земли и при этом через данное отверстие падал бы тяжелый предмет, он бы, если бы достиг центра, прошел его и на основе того же самого акцидентального приобретенного качества пошел бы вверх и потом снова упал вниз, как мы наблюдали у тяжелого предмета, привязанного на длинной веревке к балке. И, таким образом, речь здесь идет не о собственно тяжести, так как импульситет может двигаться в противоположном направлении»<sup>66</sup>.

<sup>66</sup> Wolf M. Указ. соч., S. 236.

Мысленный эксперимент Галилея предназначался для доказательства ошибочности утверждения Аристотеля, что тяжелые тела при падении движутся со скоростью, пропорциональной их весу.

Галилей призывает: чтобы «действовать не произвольно и случайно, а при помощи убедительного метода», надо (совсем в духе Орезма) «представить себе в воображении» следующее: «... если бы земной шар был просверлен через центр, то пушечное ядро, падая по этому кольцу, приобретало бы в центре такой импульс скорости, который по миновании центра гнал бы его вверх на такое же расстояние, как и расстояние падения, причем скорость по ту сторону центра постоянно уменьшалась бы, убывая в соответствии с возрастанием, приобретаемым при падении, и время, затраченное на такое восходящее движение, думается, было бы равно времени спуска»<sup>67</sup>.

**Установление соответствия поточной и структурной теоретических схем (учение о магните Вильяма Гильберта)**

Вильям Гильберт соотносит физические представления и экспериментально-технический опыт: знания, полученные в эксперименте с искусственно обработанным магнитом (тереллой, что в переводе с лат. означает «землица»), он переносит на природный, физический объект — Землю. Эти идеи он излагает в вышедшем в 1600 г. труде «О магните»<sup>68</sup>, ставшем основанием экспериментального естествознания. В предисловии к этой книге Гильберт, как и Роджер Бэкон, ратует за опыт и эксперимент как противовес книжным авторитетам: «Я, однако, препоручаю эти основания науки о магните — новый род философии — только вам, истинные философы, благородные мужи, ищущие знания не только в книгах, но и в самих вещах. Если кое-кто не пожелает согласиться с мнениями и парадоксами, то пусть все же он обратит внимание на большое обилие опытов и открытий (благодаря которым и процветает главным образом всякая философия). Они

<sup>67</sup> Галилей Галилео. Избр. труды. В 2 т. М.: Наука, 1964. Т. 1, с. 327.

<sup>68</sup> Полное наименование произведения «О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле. Новая физиология, доказанная множеством аргументов и опытов» (М.: АН СССР, 1976). О самом Гильберте известно немного. Предположительно он родился в 1540 г. в Колчестере (Англия), учился в Кембридже и, возможно, Оксфорде; в 1560 г. получил степень бакалавра, в 1564 г. — мастера искусств, а в 1569 г. — доктора медицины. Он был придворным врачом королевы Елизаветы, знакомым со многими известными людьми того времени — учеными, мореплавателями, инженерами. Примерно 40% его книги посвящено объяснению физического эксперимента, 25% — описанию навигационных приборов, а 10% — добыче и производству железа. Очевидно, что он был знаком со многими практическими вещами не понаслышке, о чем свидетельствует тот факт, что он устраняет ошибки в знаменитом труде Агрколы о металлах. Гильберт изобрел навигационный инструмент для мореплавателей. Его книга, вышедшая за шесть лет до первой публикации Галилея, оказала огромное влияние на развитие экспериментальной науки. «Первым академически обученным ученым, который отважился заимствовать экспериментальный метод высших ремесленников и сообщить результаты этого в книге, адресованной не рулевым и механикам, но образованной публике, был Гильберт Вильям...» (Ziesel E. The Origins of William Gilbert's Scientific Method. In: Journal of the History of Ideas, 1941, Vol. II, № 1, p. 28). Умер В. Гильберт в 1603 г.

были придуманы и совершены благодаря нашему великому тщанию, бдениям и издержкам. Наслаждайтесь ими и, если сможете, сделайте из них лучшее употребление. Знаю, как трудно придать старому новый вид, потускневшему — блеск, темному — ясность, надоевшему — прелесть, сомнительному — достоверность, но гораздо труднее закрепить и утвердить, вопреки общему мнению, авторитет за тем, что является новым и неслыханным. Многие рассуждения и гипотезы на первый взгляд покажутся, может быть, неприемлемыми, так как они расходятся с общими мнениями. Я, однако, не сомневаюсь в том, что впоследствии они — благодаря сопровождающим их доказательствам — завоюют себе авторитет»<sup>69</sup>. А главными доказательствами, по его мнению, являются опыты и эксперименты. Делая обзор упоминаний о магните древними авторами, Гильберт высоко оценивает, например, описание его природы Фомой Аквинским, но «благодаря своему божественному и пронизательному уму он дал бы очень много, если бы производил опыты над магнитами»<sup>70</sup>. Именно благодаря опытам, считает он, «природа магнита, скрытые и недоступные причины такого действия магнита станут ясными и доказанными, очевидными и объясненными». Причем в отличие от Галилея Гильберт не собирается «опровергать доводами» заблуждения<sup>71</sup>.

Гильберт довольно подробно и тщательно описывает свои опыты, которые являются воспроизводимыми — первое условие всякого научного эксперимента. Опыты Гильберта получили широкое распространение в различных физических кабинетах и музеях. Однако тот, кто «пожелает повторить эти опыты, должен обращаться с телами не робко и неумело, а разумно, искусно и уверенно»<sup>72</sup>.

Приведем пример такого почти рецептурного описания эксперимента:

«Небольшой круглый кусочек коры пробкового дерева величиной с обыкновенный орех протыкается железной проволокой до середины проволоки. Когда он будет спокойно плавать, приблизить на короткое расстояние к одному концу проволоки (однако так, чтобы не было соприкосновения) конец другой железной проволоки. Оказывается, что проволока притягивает проволоку, а другая следует за ней, если первую медленно отодвигать; одновременно это происходит только в известных пределах. **А** — кора с железной проволокой, **В** — один конец проволоки, немного поднимающийся над поверхностью воды, **С** — другой конец проволоки. Так **С** притягивает **В** (рис. 49).

Гильберт строит особый идеализированный объект — тереллу, который будучи созданным искусственно, путем технической обработки, является моделью естественного объекта — Земли, «так как шаровидная форма, являясь самой совершенной, более всего похожа на земной шар и наиболее удобная для пользования магнитом и для опытов»<sup>73</sup> (рис. 50).

---

<sup>69</sup> Гильберт Вильям. О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле. М.: Мысль, 1976, с. 8–9.

<sup>70</sup> Там же, с. 24.

<sup>71</sup> Там же, с. 28, 29.

<sup>72</sup> Там же, с. 9.

<sup>73</sup> Там же, с. 36.

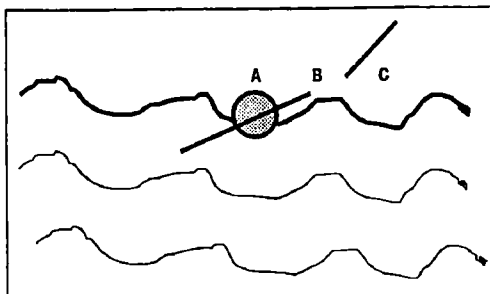


Рис. 49. Проволока из кованого железа притягивает железную проволоку, плавающую в коре на воде

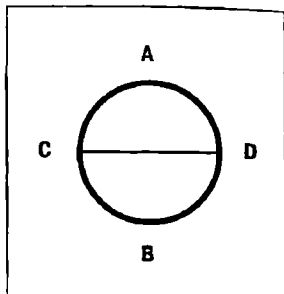


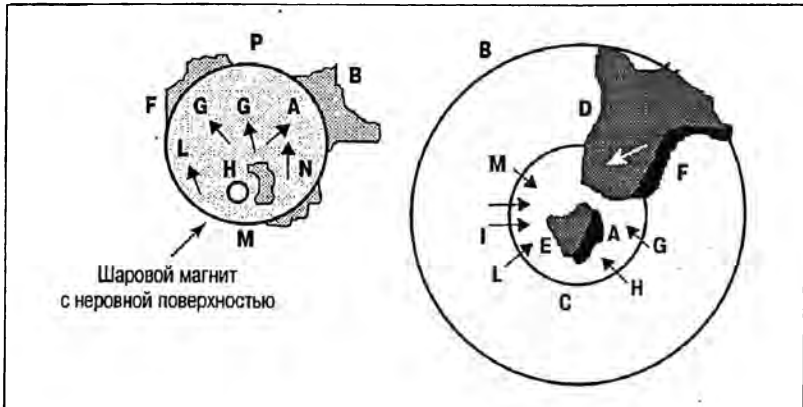
Рис. 50. Терелла, ее полюса и нейтральная линия

Фактически Гильберт подчеркивает соответствие описания структуры технически подготовленных экспериментов естественнонаучному описанию:

«Итак, возьми магнит сильный, прочный, достаточно большой, однородный, твердый, цельный; сделай из него шар с помощью того вращающегося инструмента, которым пользуются для придания круглой формы кристаллам, или с помощью других инструментов, если того потребует материал или крепость камня, который иногда трудно поддается искусственной обработке. Этот камень, таким образом отделанный, есть подлинное порождение Земли, одинакового с ней состава и имеющее ту же фигуру, получившее искусственным путем круглую форму, какою природа от начала века наделила всеобщую мать — Землю. Он представляет собой насыщенное многими свойствами физическое тело, благодаря которому люди могут легче познакомиться с множеством сокровенных и оставшихся в пренебрежении философских истин, к несчастью покрытых мраком. Этот круглый камень мы называем *землицей*»<sup>74</sup>. Опирируя тереллой, Гильберт переносит полученные им в опытах знания на естественный, природный объект — Землю, рассматривая ее как большой магнит. В предисловии к книге Гильберта, написанной Э. Райтом, приводится высокая оценка современниками полученных им результатов: «Твое открытие, что весь земной шар представляет собой магнит, большинству покажется совершенно неожиданным и вызовет недоумение. Однако оно у тебя так прочно и всесторонне подкреплено и обоснованно таким количеством прямо относящихся к делу и хорошо подобранных опытов, что не остается никакой возможности сомневаться или возражать. Ни один человек не приводил более вероятной причины, чем та, которая сейчас впервые выставлена тобой в этих твоих книгах

<sup>74</sup> Гильберт Вильям. Указ. соч., с. 36–37. Следует отметить, что идея такого рода модели восходит еще к Петру Перегринусу, который впервые дал описание магнитного компаса со стрелкой (он, однако, не отождествлял Землю с большим магнитом), и Архимеду, создавшему, по свидетельству некоторых, не дошедший до нас механический аппарат, наглядно воспроизводящий небесные движения (см.: Schuld E. Petrus Peregrinus von Maricourt, 1911, S. 638).

о магните. Прямая северная направленность магнитной стрелки среди океана и внутри материков (или даже внутри их более или менее возвышенных частей), наклонение к ним у берегов на суше и на море, согласуются с опытами над землицей (которая неровна ради сходства с Землей, в некоторых своих частях имеет возвышенности или ослаблена, попорчена, несовершенна в каком-либо отношении), доказанными в книге 4, главе 2, — все это делает правдоподобным заключение о том, что эта вариация есть ничто иное, как некая девиация намагниченного железа в сторону более мощных и возвышенных частей Земли»<sup>75</sup> (рис. 51).



**Рис. 51.** Положение магнитных стрелок на земной поверхности на одной и той же геомагнитной широте в зависимости от возвышенных мест земного шара

**А** — полюс Земли, **В** — экватор, **С** — параллельный круг на широте в 30°, **Д** — большая возвышенность, вытянутая к полюсу, **Е** — возвышенность, вытянутая от полюса к экватору, **F** — стрелка, находящаяся в середине **D** и явно не подверженная вариации, **G** — стрелка, отклоняющаяся очень сильно, **H** — стрелка, отклоняющаяся весьма незначительно, так как дальше отстоит от **D**, **I** — стрелка, помещенная прямо против **E**, не отклоняется от полюса, **L** и **M** — стрелки, которые поворачиваются от полюса **A** к возвышенности **E**

Аналогично рассуждает и Галилей: «Вообразите теперь, что Земля — это большое колесо, которое движется с огромной скоростью и должно отбрасывать камни»<sup>76</sup>. Но Галилей не ограничивается этой констатацией. Он замещает Землю колесом, а колесо (Землю), подобно Резуму, — геометрической фигурой и геометрически доказывает выдвигаемое им утверждение, используя постулаты и нормы евклидовой геометрии, а также чисто геометрические понятия и представления (линия, отношение линий, круг, центр круга, секущая, касательная, дуга, отрезок, точка, диаметр, угол и др.). Решив задачу

<sup>75</sup> Гильберт Вильям. Указ соч., с. 14. Нижеприведенные рисунки взяты со с 212–213 указ. соч.

<sup>76</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., т. 1, с. 294.

математическим путем, он снова переходит к рассмотрению физической проблемы и использует уже физические понятия: покой, движение, скорость (медленность), тяжесть (легкость), тело (вместо точки) и др. Затем он опять прибегает к помощи чертежа, который должен облегчить решение задачи <sup>77</sup> Как известно, Гильберт не использует в своей книге математику, но для пояснения своих экспериментов также приводит элементарные чертежи, необходимые для предварительной схематизации экспериментальных ситуаций. Эти схемы поразительно похожи на чертежи используемых мореходами или предлагаемых им самим навигационных приборов, которые он помещает в своей книге <sup>78</sup>.

«Пусть сначала земля будет прямая, как на первом рисунке (рис. 52. — В.Г.). В этом случае намагниченное железо будет пребывать в равновесии. При наклонном положении земли, как и на наклонной сфере (на втором рисунке), железо одним концом опускается наклонно — по направлению к соседнему полюсу, но не останавливается на полюсе, и управляет его опусканием не полюс, а тело и масса

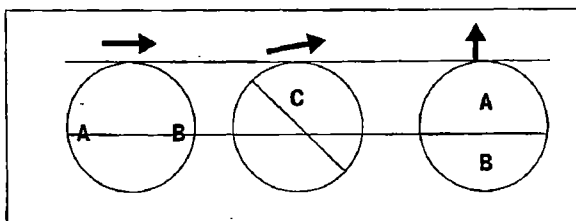


Рис. 52. Пояснение на модели (терелле) образования различных углов наклона

целого; ведь, склоняясь на большой широте, оно скользит за полюс. При третьем же положении земли железо стоит перпендикулярно, так как полюс камня — наверху, и железо, прямо направляясь к телу, касается полюса. Так можно увидеть ровное, косое и перпендикулярное положение намагниченного железа на земле» <sup>79</sup>. Однако подобные чертежи Гильберт предназначает не для расчетов или перехода к геометрическому анализу <sup>80</sup>. Это лишь первичная схематизация опыта — своего рода структурные схемы, опосредствующие переход от технически подготовленного эксперимента с искусственным объектом к описанию физических и природных процессов. Именно эту

<sup>77</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 298.

<sup>78</sup> Практическая ценность его работы подчеркивается и Э. Райтом в упомянутом предисловии: «...если бы эти твои книги о магните не содержали в себе ничего другого, кроме нахождения широты по магнитному склонению, тобою впервые предложенному, то и тогда наши английские, французские, голландские и датские капитаны, готовые плыть в пасмурную погоду из Атлантического океана в Британское море или Гибралтарский пролив, с полным основанием ценили бы их на вес золота» (Гильберт Вильям. Указ. соч., с. 14).

<sup>79</sup> Гильберт Вильям. Указ. соч., с. 246–247. Рисунок взят со с. 246 указ. соч.

<sup>80</sup> Галилей также отмечает этот факт: «По отношению к Гильберту я хотел бы только, чтобы он был немного более математиком и, в частности, был лучше осведомлен в геометрии» (Галилей Галилео. Указ. соч., т. 1, с. 499).



цель преследует рис. 53, поясняющий вращение Земли вокруг магнитной оси и являющийся схематизацией опыта над тереллой, плавающей на подставке из коры:

«Магнит, помещенный в деревянный сосуд, ставится на воду таким образом, чтобы он мог свободно плавать, поворачиваться и раскачиваться. Если полюс магнита В расположить вопреки природе по направлению к югу F, то земляца поворачивается вокруг своего центра круговым движением в плоскости горизонта по направлению к северу E, где она и останавливается (а не в С или D). Так ведет себя небольшой камень весом только в четыре унции; такое же движение и так же легко совершает и мощный камень в сто фунтов; такой же поворот сделает и очень большая магнитная гора, если бы ее несла широкая река или глубокое море, несмотря на то, что магнитное тело встречает со стороны воды большее препятствие, чем Земля в целом со стороны эфира. Так же поступила бы и Земля в целом, если бы северный полюс оказался отведенным в сторону от своей истинной направленности: северный полюс вернулся бы к Малой Медведице, так как целое проделало бы круговое движение вокруг центра.

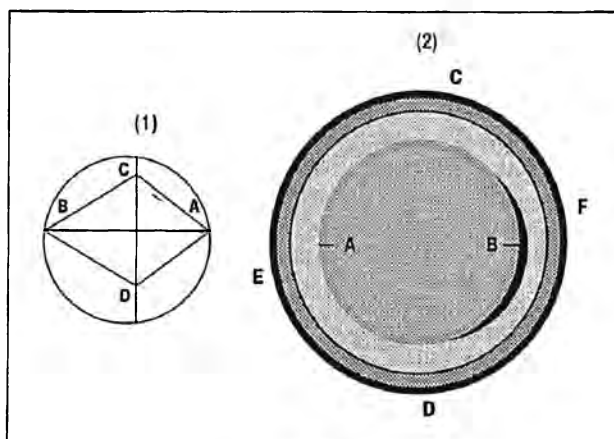


Рис. 53.

- (1) Чертеж, поясняющий вращение Земли вокруг магнитной оси;  
 (2) вид сверху на деревянный сосуд, в котором на подставке из коры плавает шарообразный магнит

Это движение, с помощью которого природа размещает части по своим местам, является круговым, а не каким-нибудь иным. Вся Земля смотрит своим полюсом на Малую Медведицу в силу постоянства своей природы; так как и всякая подлинная часть ее ищет себе в мире такого же места и прodelывает круговое движение, возвращаясь к этому положению. Естественные движения целого и частей сходны между собой; поэтому раз части вращаются, целое также имеет способность вращаться. Круглый магнит в сосуде вращается вокруг своего

центра, сообразуясь с Землей (как это ясно видно в плоскости горизонта)<sup>81</sup> (рис. 54).

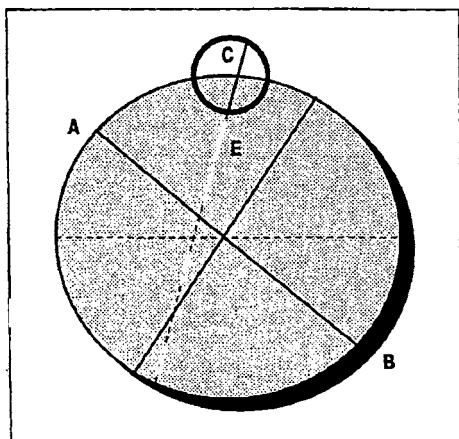


Рис. 54. Малый шаровой магнит вращается, сообразуясь с полем Земли

Из этого текста и рисунков ясно видно, каким образом Гильберт постепенно переносит знания, полученные им в эксперименте на искусственно созданном объекте (терелле), на естественный объект — Землю.

Аналогичным образом рассуждает и Галилей, доказывая вращение Земли вокруг своей оси, отвергаемое Аристотелем и схоластической наукой: «Для многих людей движение, состоящее в том, что земной шар, по Копернику, должен вращаться вокруг своего центра в сторону, противоположную всем прочим небесным движениям, — вещь наиболее невероятная и сильно подрывающая всю коперниканскую систему. Дабы устранить эту трудность, я показал, что такое движение не только не является невозможным, но согласуется с природой и почти необходимо, ибо любое тело, если его поместить в разреженную и жидкую среду, которая будет служить ему опорой, при увлечении потоком круговращения по большому кругу самопроизвольно начинает вращаться вокруг себя в направлении, противоположном направлению несущего его движения.

Этот эффект можно наблюдать, если взять в руки сосуд, наполненный водой, поместить в него плавающий шарик и поворачиваться на цыпочках, держа сосуд в вытянутых руках; шарик сразу же начнет вращаться в противоположную сторону и закончит вращаться в тот самый момент, когда мы сами остановимся. Таким образом, никакого

<sup>81</sup> Гильберт Вильям. Указ. соч., с. 285–287. Рисунок взят со с. 286 указ. соч.

чуда здесь нет, и было бы, наоборот, удивительно, как могло быть иначе с Землей, если бы, будучи телом, подвешенным в тонкой и жидкой среде и переносимым в течение одного года по окружности большого круга, она не приобрела естественно годовое вращение вокруг себя в противоположную сторону. Тому, кто держит сосуд, кажется, будто шарик, помещенный внутри сосуда, движется относительно него самого, сосуда и вращается. Но тот же самый шарик, если его сравнивать со стенами комнаты и внешними предметами, вообще не прашается и не изменяет своего наклона; если точка его поверхности была первоначально направлена на какую-нибудь внешнюю отметку на стене или где-нибудь дальше, то она всегда будет указывать в том же направлении»<sup>82</sup>.

Однако Гильберт проявил себя не только как мастер эксперимента. Он приложил большие усилия к разработке концептуального аппарата новой науки. В начале своего труда «О магните» он предложил 18 новых понятий. Некоторые из них прочно вошли в арсенал науки (например, магнетики), другие употреблялись его современниками (например, обозначение стрелки на острие — *versorium* — для отличия лабораторного прибора от компаса), многие исчезли из научной лексики. Важно, однако, отметить, что это была первая попытка создать концептуальную схему для описания экспериментальных понятий в нарождающейся науке<sup>83</sup>. В этом смысле концептуальная работа Гильберта сходна с усилиями Генриха Герца создать такого рода концептуальную схему для описания своих знаменитых опытов по распространению электромагнитных волн. То, что Гильберту действительно удалось в области развития методологии новой науки, — это установление соответствия между описаниями структурных схем экспериментов и естественнонаучных (физических) явлений и процессов. Соответствие между функциональными (математическими), поточными (физическими) и структурными (экспериментально-техническими) схемами физической теории смог установить первым лишь Галилео Галилей. Рассмотрим методологические достижения Галилея и создание им методологических основ современного математизированного и экспериментального естествознания.

***Установление соответствия функциональной,  
поточной и структурной теоретических схем  
(на примере учения Галилео Галилея)***

Галилей выбрал необычную для схоластической науки и ремесленной практики позицию: наука стала опираться на технически подготавливаемый эксперимент, а техника — на математические знания и модели. С одной стороны, он критикует схоластическую науку за преклонение перед авторитетами и невнимание к опыту как важнейшему

<sup>82</sup> Галилей Галилео. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987, с. 191–192.

<sup>83</sup> См. комментарии А.Г. Калашникова к кн.: Вильям Гильберт. О магните, магнитных телах и о большом магните — Земле. М.: АН СССР, 1976, с. 366–368.

средству научного доказательства. «Там, где перед нами веления природы, одинаково доступные очам рассудка каждого человека, тот или другой авторитет теряет силу убедительности, уступая место силе разума». Для Галилея даже доктрина Архимеда только потому истинна, «так как согласуется с опытами»<sup>84</sup>. С другой стороны, он критиковал и «некоторых механиков-практиков, строящих иногда свои изобретения на ложных основаниях», не учитывающих научных знаний и законов при сооружении машин, пытающихся обмануть природу, игнорируя основы ее устройства. По его мнению, именно «изучение природы последних» определяет «практическое применение наших умозрений»<sup>85</sup>. Ориентация одновременно и на инженерную практику, и на математическое знание (причем получаемое строго теоретически) в значительной мере предопределила направление развития идей Галилея: теоретическое исследование траектории движения снаряда было исходной задачей, с которой Галилей начал свои исследования. Ее постановка и решение стимулировались запросами нарождающейся инженерной практики (в данном случае связанной с развитием артиллерии). Галилей доказал, что движение будет происходить по определенной математической кривой — параболе.

Сопоставляя траекторию полета артиллерийского снаряда (криволинейное движение) с уже известными в геометрии кривыми, в частности со спиралью Архимеда, Галилей явно под влиянием метода Архимеда решает разделить движение снаряда на равномерное и естественно ускоренное (свободное падение). На первых этапах работа Галилея существенно не отличалась от работы Архимеда. Однако, приступив к построению теории свободного падения, он обнаружил, что сконструированные им модели и идеальные объекты не могут полностью объяснить эмпирические знания о свободном падении тел. Галилей не только стал усложнять и перестраивать эти идеальные объекты, но решительно изменил и философское представление о научной теории, прежде всего о характере и процедуре научного обоснования: он связал воедино теоретическое и опытное (экспериментальное) обоснование.

Согласно представлениям Галилея модели и идеальные объекты теории должны объяснить не всю сумму знаний, относящихся к изучаемому объекту, а лишь те знания, которые получены в эксперименте. Именно в эксперименте объект, построенный в теории, сопоставляется с объектом-оригиналом. На основе выявленных различий и знания инженерных возможностей определяются технические средства и условия, позволяющие создать для оригинала специальные условия, в которых он ведет себя в соответствии с теоретическими представлениями. Таким образом, в процессе эксперимента объект-оригинал преобразуется в «экспериментальный» объект, представляющий собой инженерную реализацию идеального объекта (предварительно построенного в теории).

---

<sup>84</sup> Галилей Галилео. Избр. труды. В 2 т. М.: Наука, 1964; т. 2, с. 57, 59.

<sup>85</sup> Там же, т. 1, с. 16.

Галилей расчленяет в знании реальный объект на две составляющие: одна из них точно соответствует идеальному объекту, а другая трактуется как искажение идеального поведения объекта под воздействием различных факторов. Это дает возможность Галилею изменять реальный объект, практически воздействуя на него. Если «отбросить случайные помехи, которые теоретически не принимаются в расчет», то можно «нейтрализовать» нежелательные свойства реального объекта, которые мешают отождествить его с идеальным.

До Галилея научное исследование по античному образцу мыслилось как получение знаний об объекте, который всегда рассматривался как неизменный. Никому не приходило в голову практически изменять изучаемый реальный объект (в этом случае он воспринимался бы как другой объект). Античные и средневековые ученые, напротив, старались усовершенствовать теоретическую модель, чтобы ее поведение полностью соответствовало поведению реального объекта<sup>86</sup>. Описывая, например, опыты с телами, пребывающими и движущимися в воде, Галилей подчеркивает, что он «предложил способ более утонченный при котором устранены все иные причины опускания и неопускания на дно», а чтобы провести точный опыт, «нужно взять вещество, которому можно легко придать различную форму (чтобы не было сомнения в различии в тяжести)». Кроме того, «в высшей степени удобно брать вещество, наиболее близкое по тяжести к воде», поскольку «на нем всего быстрее обнаруживается каждое малое различие, происходящее от изменения фигуры». Галилей выбирает воск, так как он «не пропитается водой, ему может быть придана легко любая фигура, с добавлением свинцовых опилок становится близок по весу к воде». Этот опыт Галилей проводит для доказательства того, что «различные формы, приданные тому или другому телу, не могут быть ни в коем случае причиной его опускания на дно или поднятия на поверхность». Именно считая, что традиционно проводимый опыт, якобы доказывающий противоположный тезис (с эбонитовым шариком, который тонет, и дощечкой, которая удерживается на поверхности), является некорректным, Галилей и предлагает целый ряд условий, позволяющих соблюсти чистоту опыта. Тем самым экспериментально подтверждаются положения Архимеда, изложенные им в книге «О плавающих телах»: тела, которые легче воды, всплывают, тела, которые тяжелее воды, идут на дно, а тела, вес которых равен весу воды, остаются во взвешенном состоянии, хотя и под водой. Далее Галилей приводит почти рецептурно точное описание такого опыта: «Кто хочет произвести подобный опыт с ... удобным материалом, легко принимающим любую форму, может взять чистого воска и сделать из него шарик или другую плотную фигуру и затем прибавить к воску свинца в таком количестве, чтобы эти фигуры с трудом тонули, т. е. чтобы свинца на одно зернышко менее было бы уже недостаточно для их погружения. Придав тому же воску форму сосуда

---

<sup>86</sup> См.: Розин В. М. Опыт изучения научного творчества Галилео Галилея // Вопросы философии, 1981, № 5.

и наполнив его водою, найдем, что без свинца он не пойдет ко дну, а со свинцом опустится с медленностью; в общем, налитая вода не внесет никакого изменения». В заключение Галилей, убежденный в правоте своих выводов, доказанных в этом точно спроектированным им эксперименте, настоятельно подчеркивает, что от полученных выводов его «не отвратят опыты, могущими еще быть выставленными против», не убедит и «авторитет Аристотеля, который во многих местах утверждает противное тому, что показывает мне опыт»<sup>87</sup>

Для него математический объект (например, точка) всегда соотносится не только с физическим объектом (например, камнем), но и с искусственно созданным техническим объектом (например, пушечным ядром)<sup>88</sup>. Однако Галилей не просто соотносит, а идеализирует их, «конструируя» в теории особые идеальные объекты, которые специально создаются в теоретическом знании как результат особого рода идеализации и схематизации экспериментальных, а следовательно, и технических объектов. Без такой идеализации было бы невозможно возникновение не только современного естествознания, но и современной инженерной деятельности. Таким образом, главная заслуга Галилея в том, что он смог соединить новое инженерное движение с теоретической традицией, идущей от античности и развитой средневековыми философами и учеными.

Наука Галилея — это результат не только соединения рассуждений ученых с методами инженеров и техников-ремесленников, а прежде всего глубокой теоретической работы. Главная роль в становлении этой науки принадлежит не непосредственному наблюдению и опыту, а точно планируемому эксперименту. Галилей, однако, не пренебрегает и простыми наблюдениями. Таким образом, опыт для него включает в себя три основные компоненты:

- наблюдение за естественными процессами, происходящими в природе (без вмешательства человека);

«Приливы и отливы поднимают воду более всего на краях, а менее всего — в их середине, как это показывает нам ежедневный опыт»<sup>89</sup>. Однако наблюдение может, а в науке даже должно, проводиться с помощью какого-либо прибора, например телескопа;

- наблюдение за функционированием каких-либо искусственных сооружений, технических устройств;

«Я вижу, как гончары и формовщики оловянной посуды прикрепляют к их станкам весьма тяжелые колеса, чтобы они возможно долго содержали данный им напор (*impeto*); то же самое достигается во многих машинах при помощи маховиков»<sup>90</sup>.

- искусственный, инженерный опыт, т. е. теоретически спланированный и технически выполненный эксперимент.

---

<sup>87</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., т. 2, с. 56–66.

<sup>88</sup> Там же, т. 1, с. 124–127.

<sup>89</sup> Там же, с. 526.

<sup>90</sup> Там же, с. 91.

«Понять причину этого явления очень легко, поскольку мы имеем явную их аналогию в любом искусственно изготовленном нами сосуде, в котором мы увидим естественно происходящими эти явления, если будем двигать сосуд движением не равномерным, а то ускоренным, то замедленным»<sup>91</sup>.

Необходимым условием экспериментирования для Галилея было также использование математического языка, прежде всего геометрии. Это выразилось в геометризации физического пространства — замещении конкретного пространства догалилеевской физики абстрактным пространством евклидовой геометрии. «Философия написана в величественной книге (я имею в виду Вселенную), — подчеркивает Галилей, — которая постоянно открыта нашему взору, но понять ее может лишь тот, кто сначала научился постигать ее язык и толковать знаки, которыми она написана. Написана же она на языке математики, и знаки ее — треугольники, дуги и другие геометрические фигуры, без которых человек не смог бы понять в ней ни единого слова; без них он был бы обречен блуждать в потемках по лабиринту»<sup>92</sup>. Галилей практически реализовал в своей новой науке утверждение Леонардо да Винчи (выразившего мнение большинства инженеров того времени), что «механика — рай математических наук»<sup>93</sup>. Развитая Галилеем геометро-кинематическая схема природных явлений, подготовленная геометрическими «упражнениями» с природой, проведенными художниками-инженерами Возрождения, стала основой всего последующего экспериментального и математического естествознания. «Он создал первую систему тех идеализированных объектов, геометро-механических схем и исходных мысленных экспериментов, в работе с которыми и развертывался мир теоретической механики. Последующие теоретики — Пойгенс, Роберваль и другие — уже имели перед собой эти предметы — инструменты и двигались в двух направлениях. Во-первых, они продолжали синтетическую и мысленно-экспериментальную работу Галилея избирая новые механо-геометрические объекты. Во-вторых, по мере создания такого мира теоретических объектов разворачивалась аналитическая работа, в которой исследовались всеобщие условия существования таких объектов, т. е. фундаментальные законы, лежащие в основе их функционирования. Здесь проходил путь создания основ всеобщей механики»<sup>94</sup>.

Большой вклад в механизацию геометрии внес также Декарт. В античной геометрии не рассматривались кривые, называемые механическими, так как они производятся машинами. Декарт возражал, что тогда должны быть исключены круги и прямые, изображаемые соответственно только с помощью циркуля и линейки, которые можно считать простейшими машинами. Он считал, что к области геометрии относятся все линии, описанные «непрерывным движением или же несколькими такими непрерывными

<sup>91</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 526.

<sup>92</sup> Галилей Галилео. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987, с. 41.

<sup>93</sup> Зубов В. П. Леонардо да Винчи. М.-Л.: Мысль, 1961, с. 212.

<sup>94</sup> Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента (от античности до XVII века). М.: Наука, 1976, с. 228–229.

движениями, из которых последующие вполне определяются их предшествующими»<sup>95</sup>. Декарт не видит «ничего, что мешало бы составить столь же ясное и отчетливое понятие о способе описания» других кривых, «как и о способе описания круга», и «почему ими всеми нельзя было бы в равной мере пользоваться в геометрических рассуждениях»<sup>96</sup>. Эти линии могут быть описаны с помощью шарнирного механизма, т. е. здесь используется кинематический принцип. Декарт даже сам разработал и изготовил специальный циркуль, имеющий четыре ножки и сконструированный так, что три угла между ними всегда остаются равными, каков бы ни был угол между крайними ножками<sup>97</sup> (рис. 55).

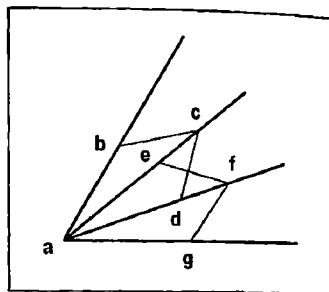


Рис. 55

Новая наука заменила расплывчатые и полукачественные понятия аристотелевской физики системой жестких и строго количественных понятий. У Галилея присутствуют все три важнейшие компоненты естественнонаучной теории, четко соответствующие друг другу: геометрическая (математическая) схема, физические (естественнонаучные) представления природных процессов и структурная (техническая) схема эксперимента. Однако все эти компоненты присутствуют уже в существенно преобразованном, идеализированном виде.

Рассмотрим, каким образом Галилей переходит от одной компоненты к другой, на примере доказательства возможности вращения Земли вокруг своей оси, приведенном в его «Диалоге о двух главнейших системах мира — птолемеевой и коперниковой». Представив Землю в виде вращающегося колеса, Галилей приводит геометрический чертеж, облегчающий решение задачи:

«Итак, начертим отвесную линию, направленную к центру; пусть это будет линия АС. Под прямым углом к ней проведем горизонтальную линию АВ, по которой должно происходить движение бросания и по которой брошенное тело продолжало бы двигаться равномерным движением, если бы тяжесть не отклоняла его к низу ...» и т. д.<sup>98</sup> Здесь физические понятия и процессы у Галилея постоянно перемежаются математическими понятиями и доказательствами. Наконец, один из участников диалога восклицает: «Надо признаться, что попытка трактовать естественные проблемы без геометрии есть попытка сделать невозможное»<sup>99</sup>.

Далее Галилей возвращается к технической по сути модели колеса, которая в принципе может быть воспроизведена в реальной экспери-

<sup>95</sup> Матвиевская Г. П. Рене Декарт. М.: Наука, 1976, с. 173.

<sup>96</sup> Декарт Р. Рассуждения о методе с приложениями «Диоптрика», «Метеоры», «Геометрия». М.: АН СССР, 1953, с. 323.

<sup>97</sup> Матвиевская Г. П. Указ. соч., с. 144. Рисунок взят со с. 145 указ. соч.

<sup>98</sup> Галилей Галилео. Избр. труды. В 2 т. М.: Наука, 1964; т. 1, с. 298.

<sup>99</sup> Там же, с. 302.



ментальной ситуации, хотя для мысленного экспериментирования<sup>100</sup> нет в этом особой необходимости: «... раз скорость вращения Земли больше скорости вращения любой машины, которую мы можем искусственно вращать, то соответственно и отбрасывание камней, животных и т. д. должно быть чрезвычайно сильным»<sup>101</sup>. (Речь идет об аргументе против вращения Земли вокруг своей оси: в этом случае все находящиеся на ее поверхности предметы были бы сметены.) Далее Галилей ставит мысленный эксперимент — сравнивает на геометрическом чертеже вращение двух колес — маленького и большого. При этом при переходе от искусственной, технической модели к объяснению естественного, природного явления он формулирует принципиально новый вывод, противоречащий первоначальному: «Таким образом, можно считать, что вращение Земли способно отбросить камни не в большей мере, чем любое иное малое колесо, вращающееся столь медленно, что в 24 часа оно совершает всего лишь 1 оборот»<sup>102</sup>.

Его оппонент Симпличио возражает, что его доказательство («сфера касается плоскости только в одной точке») относится лишь к сферам абстрактным, поскольку найти такую материальную сферу очень трудно: во-первых, из-за пористости вещества и, во-вторых, из-за того, что «когда металлическая сфера положена на плоскость, ее собственный вес давит так, что она несколько поддается или же сама сфера при соприкосновении сплющивается». Галилей отвечает: «О, все это я охотно допускаю, но это весьма далеко от нашей темы. Желая показать мне, что материальная сфера соприкасается с материальной плоскостью не в одной точке, вы пользуетесь сферой, которая не есть сфера, и плоскостью, которая не есть плоскость, поскольку, по вашим словам, или этих вещей в мире нет, или если они и есть, то они портятся при применении их к делу. Было бы, значит, правильнее принять заключение, хотя бы условно, а именно, что если бы в природе существовали и сохранились без изменения совершенные сферы и плоскости, то они соприкасались бы в одной единственной точке, а затем уже отрицать возможность этого в действительности»<sup>103</sup>. Здесь налицо идеализация природных (реальных) объектов, «подгонка» их Галилеем под математическую (геометрическую) схему.

Симпличио вновь возражает: «Думаю, что положение философов нужно понимать именно в этом смысле, потому что, несомненно, несовершенство материи является причиной того, что вещи, взятые конкретно, не соответствуют вещам, рассматриваемым в абстракции. Тогда Галилей восклицает: «Как не соответствуют? Наоборот, то, что вы сами сейчас говорите, доказывает, что они в точности соответствуют»<sup>104</sup>. Таким образом, получают идеально реальные, природно-

<sup>100</sup> Известно, что Галилей многие из своих экспериментов вообще никогда не осуществлял, но приводимые им описания проектные и, следовательно, осуществимы.

<sup>101</sup> *Галилей Галилео*. Указ. соч., с. 311.

<sup>102</sup> Там же, с. 317.

<sup>103</sup> Там же, с. 306.

<sup>104</sup> Там же.

математические синкретические объекты, т. е. природные объекты, «внутри» которых скрыта математическая (геометрическая) схема. По этому поводу Галилей замечает: «Из-за несовершенства материи то тело, которое должно быть совершенно сферичным, и та плоскость, которая должна быть совершенно плоской, конкретно не оказываются такими, какими вы их представляете в абстракции. Значит, всякий раз как вы конкретно прикладываете материальную сферу к материальной плоскости, вы прикладываете несовершенную сферу к несовершенной плоскости и говорите, что они соприкасаются не в одной единственной точке. А я вам говорю, что и в абстракции нематериальная сфера, которая является несовершенной сферой, может касаться нематериальной, также несовершенной плоскости, не в одной точке, а частью поверхности. Так что то, что происходит конкретно, имеет место и в абстракции. Было бы большой неожиданностью, если бы вычисления и действия, производимые абстрактно над числами, не соответствовали затем конкретно серебряным и золотым монетам и товарам. Но знаете ли что происходит на деле и как для выполнения подсчетов сахара, шелка и полотна необходимо скинуть вес ящиков, обертки и иной тары; так и философ-геометр, желая проверить конкретные результаты, полученные путем абстрактных доказательств, должен сбросить помеху материи, и если он сумеет это сделать, то, уверяю вас, все сойдется не менее точно, чем при арифметических подсчетах. Итак, ошибки заключаются не в абстрактном, не в конкретном, не в геометрии, не в физике, но в вычислителе, который не умеет правильно вычислять. Поэтому, если у вас есть совершенные сфера и плоскость, хотя бы и материальные, не сомневайтесь, что они соприкасаются в одной точке. А если их невозможно получить, то все же утверждение, что *sphaera aenea non tangit in puncto*<sup>105</sup>, весьма далеко от сути дела»<sup>106</sup>.

Кроме того, существуют инженерные, технические способы приблизить несовершенные («выпирающие» из совершенной геометрической формы) природные объекты к идеальным, математическим, совершенным. Это шлифовка, выбор неподдающегося деформации материала и т. п., позволяющие создать искусственным путем естественные объекты, для которых можно пренебречь незначительным отклонением от идеальной формы. Здесь явный отход от принципов отлученной от математики аристотелевской физики, обреченной изучать несовершенные, «выпирающие» из идеальной формы земные тела.

Несомненно, что в своих абстрактных рассуждениях Галилей опирается на существовавшую в его время инженерную практику: «Быть может, эти математические положения, которые истинны в абстракции, не подойдут в точности при конкретном приложении к физическим материальным кругам. Однако, мне кажется, что бондари для того, чтобы найти полудиамер днща, которое должно быть сделано для бочки, пользуются абстрактным правилом математиков,

<sup>105</sup> «Бронзовая сфера не касается в точке».

<sup>106</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 307.

хотя днища и являются вешами, достаточно конкретными и материальными»<sup>107</sup>.

Проиллюстрируем на примере доказательства шероховатости Луны, приведенном в «Диалоге о двух системах мира...», как Галилей переходит от физической (естественнонаучной) проблемы к решению математической задачи с помощью геометрического чертежа и далее — к подтверждению полученного теоретически результата на структурной схеме эксперимента. Симпличио утверждает, что поверхность Луны гладкая, просто ее отдельные участки являются более темными. (Важно не забывать, что шероховатость Луны была открыта Галилеем с помощью телескопа, т. е. технически множество лучей в самых экспериментального оборудования.) Опровергая утверждение Симпличио, Галилей переходит от описания реальной поверхности к идеальному объекту и устами Сальвиати сообщает: «Стремься понять это явление в целом, примите во внимание, что если поверхность этой стены шероховата, то это означает, что она образована из *бесконечного количества очень маленьких поверхностей, расположенных с бесконечным разнообразием наклонов*», причем все они отражают множество лучей в самых разнообразных направлениях»<sup>108</sup>. Так же и Луна, имея шероховатую поверхность, отражает солнечный свет во все стороны и остается для любого наблюдателя всегда светлой. Здесь Галилей апеллирует не просто к наблюдению, созерцанию, очевидности (ведь чувственный опыт может и обманывать), а к ремесленной практике. Ссылается он и на опыт художников: «известно, что различные точки зрения при рассмотрении шлифованных поверхностей порождают такие световые различия, что для подражания и изображения в живописи, например, шлифованного панциря, нужно раскладывать беспримесные черные и белые краски одну рядом с другой на тех частях этого вооружения, куда падает прямой свет»<sup>109</sup>.

Отвечая на вопрос, почему более шероховатая поверхность должна давать более сильное отражение света, он явно использует теорию

---

<sup>107</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 332.

<sup>108</sup> Там же, с. 175. Здесь Галилей фактически сконструировал новый абстрактный (идеализированный) объект — *поверхность, образованную из бесконечно-го количества очень маленьких поверхностей, расположенных с бесконечным разнообразием наклонов*. Этот идеальный объект физической теории весьма схож с идеализированным объектом возникшей значительно позже радиолокационной теории, так называемой «рэлеевской целью» (о чем более подробно будет рассказано позже), которую можно представить как бы состоящей из большого количества отражающих элементов сравнимых размеров. «Рэлеевская цель», с одной стороны, объект математической статистики (вероятностное распределение Рэля), а с другой, имеет четкий коррелят в электродинамике, т. е. является абстрактным объектом соответствующей физической теории. В трактате Галилея «Пробирных дел мастер» описание данного идеализированного объекта еще более соответствует этому представлению: «Если поверхность не ровная, а волнистая, и изобилует возвышениями и впадинами, то она «как бы составлена из великого множества маленьких зеркал, расположенных под различными наклонами и видимых в тысячах различных ракурсах» (Галилей Галилео. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987, с. 121).

<sup>109</sup> Галилей Галилео. Избр. труды. В 2 т. М.: Наука, 1964; т. 1, с. 177.

перспективы, развитую художниками-инженерами-учеными эпохи Возрождения: перпендикулярные лучи освещают больше, чем косые. Чтобы разъяснить это утверждение, Галилей прибегает опять к простому мысленному эксперименту, который, однако, легко воспроизводим и не требует никакого специального оборудования, кроме листа бумаги (но это уже не обыкновенное чувственное наблюдение, а конструирование идеализированной экспериментальной ситуации): «Я сгибаю этот лист бумаги так, что одна сторона образует угол с другой, и подставляю его отражению света от этой противоположной стены, вы видите, что та сторона, которая воспринимает косые лучи, менее светла, чем другая, куда отражение идет под прямым углом; и заметьте, что по мере того, как я ставлю лист все более и более косо, освещение становится все слабее».

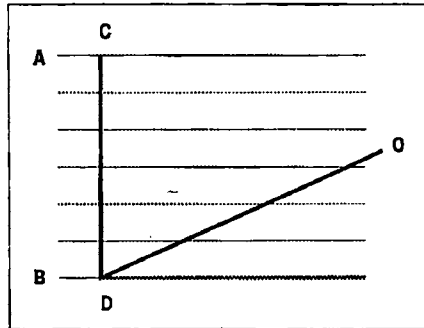


Рис. 56

На это тугодум Сагредо отвечает: «Я вижу, но не понимаю причины». Тогда Галилей устами Сальвиати предлагает перейти к геометрическому доказательству: «чтобы не тратить времени, вот вам маленькое доказательство на этом чертеже» (рис. 56. — *В.Г.*)<sup>110</sup>.

Далее Галилей конструирует функциональные (математические) теоретические схемы, по сути дела уже не обсуждая физическую (естественнонаучную) проблему, а решая сформулированную им и замещающую в определенном отношении эту проблему геометрическую задачу: «Представьте себе, что все параллельные линии, исходящие из точек А и В, являющиеся лучами, которые до линии CD ходят под прямыми углами; наклоните теперь эту же самую линию CD так, чтобы она нагнулась как DO: разве вы не видите, что значительная часть тех лучей, которые ранее падали на CD, проходят, не касаясь, DO? Значит, если DO освещена меньшим количеством лучей, то вполне

<sup>110</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 178. В сочинении «Пробирных дел мастер» (М.: Наука, 1987, с. 136) Галилей предупреждает: «Всецело полагаться на строгость геометрических доказательств слишком опасный эксперимент для того, кто не вполне владеет ими, ибо, подобно тому, как в физических явлениях не существует среднего между истиной и ложью, в строгих доказательствах каждый тезис должен быть либо установлен со всей полнотой, исключаяющей всякие сомнения, либо признан необоснованным ... доказательство должно быть немногословным, и ты либо кесарь, либо никто. Геометрическая строгость позволит мне более кратко и менее утомительно ... распутать все последующие доказательства, которые я назову оптическими ...». Однако в другом месте он подчеркивает непреходящую силу геометрической аргументации: «Каждое мое суждение оспаривали, ни мало не считаясь с тем, что все мои доводы были подкреплены и обоснованы геометрическими доказательствами, и мои противники упустили из виду главное: противоречия геометрии, они тем самым отрицали истину».

понятно, что воспроизведенный ею свет слабее»<sup>111</sup>. Галилей отождествляет в этом примере параллельные линии (математические объекты) с лучами света (физическими — естественными — объектами), а линии *CD* и *DO* — с освещаемой поверхностью, представленной в описанном эксперименте с согнутым листом бумаги (искусственным объектом, специально изготовленным для данной экспериментальной ситуации).

Далее Галилей снова возвращается к реальному физическому телу — Луне, сравнивая ее поверхность с поверхностью листа бумаги: «Раз она сферической формы, то если бы поверхность ее была бы так же гладка, как и у этой бумаги, то те части ее полусферы, освещенной Солнцем, которые находятся около краев, получили бы гораздо меньше света, чем средние части, так как на первые лучи падают очень косо, а на вторые — под прямыми углами, поэтому в полнолуние, когда мы видим почти всю полусферу освещенной, части около середины должны были бы казаться нам более блестящими, чем другие, находящиеся около окружности, а этого не наблюдается»<sup>112</sup>. Здесь он опять апеллирует к ремесленной практике, указав, что перламутр в отшлифованном виде аналогичен неодинаковостям лунной поверхности. Наконец, Галилей приводит свой главный аргумент: невозможность искусственно воспроизвести наблюдаемые на естественном объекте (Луне) природные явления с помощью специально изготовленного гладкого шара и возможность их воспроизводимости с помощью шара, имеющего шероховатую поверхность, имитирующую горы на Луне. Из всех «различных явлений, которые каждый вечер наблюдаются во время прохождения Луны, вы ни одного не сможете воспроизвести, сделав по своему усмотрению шар с гладкой поверхностью из более или менее просвечивающих или непросвечивающих частей, тогда как, обратно этому, из любой прочной и непросвечивающей материи можно сделать такие шары, которые одними только возвышениями и углублениями при различном освещении представят в точности те самые виды и изменения, которые ежечасно наблюдаются на Луне»<sup>113</sup>. Не следует, однако, забывать, что Галилей открыл возвышенности и впадины на Луне с помощью сконструированного и изготовленного им самим «инструмента для наблюдения» — телескопа.

Исходя из нового научного метода Галилей фактически воплотил в реальную конструкцию фантазии Роджера Бэкона<sup>114</sup> и «проекты» Леонардо да Винчи. Однако для «Леонардо и де ля Порта зрительная труба была одним из фокусов «натуральной магии», вроде камеры-обскуры и «магических» зеркал. Галилей передает в полном соответствии с действительностью, с какой неслыханной быстротой он сумел

<sup>111</sup> Галилей Галилео. Избр. труды. В 2 т. М., Наука, 1964; т. 1, с. 179.

<sup>112</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 179.

<sup>113</sup> Там же, с. 185.

<sup>114</sup> Р. Бэкон говорит об обработке линз и создании инструмента, при помощи которого «отдаленные предметы покажутся близкими, и наоборот».

по одному намеку найти схему трубы, усовершенствовать ее и без промедления реализовать основные применения ее»<sup>115</sup>.

Зрительные трубы, называвшиеся «новыми очками», как уже неоднократно говорилось, были созданы еще в 1608 г. голландскими мастерами-оптиками, но были очень несовершенными, и возможность их использования вызывала большие сомнения. Галилей же сразу понял практическое значение этих инструментов и их удобство как на суше, так и на море. Он следующим образом описывает свое изобретение — перспективу<sup>116</sup>: «видимые предметы, далеко расположенные от глаз, становятся отчетливо различимыми, как будто бы они были близкими. Сообщалось об опытах с этим удивительным прибором, одни их подтверждали, другие — отрицали. Несколько дней спустя это было подтверждено мне в письме из Парижа. Это и было причиной, по которой я обратился к изысканию оснований и средств для изобретения сходного инструмента. Вскоре после сего, опираясь на учение о преломлениях, я постиг дело и сначала изготовил свинцовую трубу, на концах коей и поместил два очковых стекла, оба плоских с одной стороны, с другой стороны одно стекло было выпукло-сферическим, другое же вогнутым. Помещая засим глаз у вогнутого стекла, я видел предметы достаточно большими и близкими, именно они казались в три раза ближе и в десять раз больше, чем при рассматривании естественным глазом. После сего я разработал более точную трубу, которая представляла предметы увеличенными больше чем в шестьдесят раз. Засим, не жалея никакого труда и никаких средств, я достиг того, что построил себе орган, настолько превосходный, что вещи казались через него при взгляде почти в тысячу раз крупнее и более, чем в тридцать раз приближенными, чем при рассматривании с помощью естественных способностей»<sup>117</sup>.

Впрочем, как известно, появление телескопа поначалу вызвало не столько восхищение, сколько яростную критику самой возможности правильного наблюдения и научного исследования. Противники Галилея, в частности, утверждали, что телескоп не увеличивает, а показывает не существующие в действительности небесные тела. Речь шла прежде всего о многочисленных звездах, которые стали видны на небесном своде только благодаря телескопу. На это Галилей отвечает: «не существуй они в действительности, все телескопы в мире были бы не в состоянии превратить их из ничто в нечто. Иначе говоря, изображения невидимых звезд ничуть не меньше, чем изображения видимых звезд, распространяются во Вселенной, и их увеличение можно предсказать ... ничуть не погрешая против логики». Другой аргумент противников Галилея заключался в том, что телескоп искажает изображения реальных предметов, являясь своего рода препятствием для получения истинного изображения, — Галилей последовательно, методично и научно обоснованно опровергает все эти аргументы.

---

<sup>115</sup> Такова предельно точная характеристика этого открытия, данная С.И. Вавиловым (см.: Гуриков В.А. Становление прикладной оптики XV–XIX вв. М.: Наука, 1983, с. 20).

<sup>116</sup> Так сначала назывался телескоп.

<sup>117</sup> Гуриков В.А. Становление прикладной оптики XV–XIX вв. М.: Наука, 1983, с. 18–19.

Галилей признавал приоритет голландских мастеров, но в отличие от «фламандской перспективы», которая была результатом случайной находки, традиционного для ремесленной технической деятельности метода проб и ошибок, его телескоп был детищем науки, результатом ее сознательного применения. Для создания и усовершенствования данного экспериментально-технического устройства, изобретения, перевернувшего имевшиеся тогда представления о Вселенной, Галилей использовал все известные к началу XVII в. знания оптики<sup>118</sup>. «Рассуждал я следующим образом, — писал он. — У этого устройства непременно должно быть либо одно, либо более чем одно стекло. Оно не может состоять из одного стекла, ибо форма последнего непременно была бы либо выпуклой, т. е. более толстой в середине, чем по краям, либо вогнутой, т. е. более тонкой в середине, либо оно должно быть заключено между параллельными поверхностями. Но последняя из названных (форм) не изменяет видимые предметы, увеличивая или уменьшая их; вогнутое (стекло) уменьшает их, а выпуклое увеличивает их, давая сильно искаженное и неясное изображение. Следовательно, для получения требуемого эффекта одного стекла недостаточно. Переходя затем к двум стеклам и зная, что стекло с параллельными поверхностями, как уже было сказано, ничего не изменяет, я пришел к выводу, что сочетание его с любым из двух других не дает желаемого эффекта. Поэтому мне оставалось выяснять, что даст сочетание выпуклого стекла с вогнутым, и ... именно оно и дало то, что я искал<sup>119</sup>. Так я шел к моему открытию, и сознание того, что мое заключение правильно, ничуть не помогло мне»<sup>120</sup>. Далее Галилей справедливо утверждает, что предварительное знание эффекта, т. е. результата, который должен быть получен, не облегчает решения задачи. Он фактически решал инженерную задачу, в которой всегда предварительно заданы технические требования к продукту и необходимо лишь построить техническое устройство, реализующее данные требования.

---

<sup>118</sup> «Ныне доподлинно известно, — писал Галилей, — что голландец, который впервые изобрел зрительную трубу, был простым мастером, изготовлявшим обыкновенные очки. Перебирая стекла разных сортов, он случайно посмотрел через два стекла сразу, одно выпуклое и одно вогнутое, находившиеся на различных расстояниях от глаз. Он заметил возникающий при этом эффект и таким образом открыл инструмент. Я же, понуждаемый упомянутым выше известием, открыл то же самое путем рассуждений» (Галилей Галилео. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987, с. 81).

<sup>119</sup> Вогнутое стекло является наиболее важной частью телескопа, поскольку его держат непосредственно вблизи глаза и «лучи сквозь него проходят в конце пути ... хотя выпуклая линза собирает лучи, вогнутое стекло делает их расходящимися и порождает обращенный конус. Если бы ты попытался поймать лучи, проходящие через оба стекла телескопа ... то увидел бы, что в то время как последние собираются в одной точке, первые расходятся бесконечно ... Это очень хорошо видно на опыте при получении изображения Солнца на листе бумаги, например при наблюдении за солнечными пятнами. По мере того как конец телескопа отодвигается все дальше и дальше, конус лучей описывает на листе все более широкий круг, и чем шире такой круг, тем менее ярк он по сравнению с остальной частью листа, на которую попадают прямые солнечные лучи». Причем, «чем больше кажется предмет через вогнутое стекло, тем темнее его изображение» (Галилей Галилео. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987, с. 76).

<sup>120</sup> *Галилей Галилео.* Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987, с. 81–82.

Работы Галилея создали основу для формирования образцов инженерного мышления и деятельности уже не только в сфере теории, но и на практике, одним из самых ярких из которых было творчество его младшего современника Христиана Гюйгенса<sup>121</sup>. Он осуществлял свою, по сути инженерную, деятельность на основе точного расчета и сознательного применения научного знания. Именно у Гюйгенса наиболее четко прослеживается соотнесение математической схемы (геометрической кривой, которую описывает маятник в его часах, — циклоиды) с описанием физического процесса качания маятника и конструкцией часов (одновременно являвшихся новым, более точным экспериментальным прибором). Гюйгенс фактически построил вполне законченную, но частную теоретическую схему естественнонаучной теории маятника.

*Разработка частных теоретических моделей  
(на примере теории изохронного качания маятника  
Христиана Гюйгенса)*

Обращаясь к исследованию изохронного качания математического маятника — детищу Галилея, — Гюйгенс уточняет: изохронность математического маятника (независимость периода его колебаний от амплитуды размаха) справедлива лишь приближенно для малых углов размаха. Такой теоретический вывод возник у Гюйгенса в процессе конструирования механизма часов и послужил отправным пунктом для создания более совершенного механизма<sup>122</sup>. Гюйгенс действовал, таким образом, прежде всего как инженер, реализовавший в массовом механизме уже известное свойство изохронности маятника<sup>123</sup>. Он во

<sup>121</sup> «Христиан Гюйгенс родился 14 апреля 1629 г. в Гааге в семье известного ученого и изобретателя Константина Гюйгенса, богатого землевладельца и секретаря принца Оранского. Искусный шлифовальщик стекол, образованный математик и механик Константин Гюйгенс сам преподавал сыновьям математические науки. С 16 лет Гюйгенс изучал в Лейденском университете право. В 22 года закончил первое оригинальное исследование о квадратуре гиперболы, эллипса и круга. Кроме математических увлечений у Гюйгенса проявляется интерес к наблюдательной астрономии: он изготавливает зрительные трубы и устремляет их в небо. В 1655 г. он открыл кольцо Сатурна и один из его 9 спутников (самый большой — Титан), определив период его обращения. В 1663 г. он избран членом Лондонского Королевского общества, а в 1666 г., в год основания Парижской Академии наук, избран ее членом с предоставлением квартиры в здании Королевской библиотеки в Париже, где он жил и работал до 1681 г. ... На родине, в Гааге, интересы Гюйгенса сосредоточились главным образом на оптике. Умер Х. Гюйгенс 8 июня 1695 г.» (Тюлина И.А. История и методология механики. М.: Издательство Московского университета, 1979, с. 87).

<sup>122</sup> Этой задаче он посвятил более 40 лет (см.: Гиндикин С.Г. Рассказы о физиках и математиках. М.-Л.: Наука, 1982, с. 97–98).

<sup>123</sup> Первый экземпляр часов по проекту самого Гюйгенса изготовил голландский часовщик Костер, а Гюйгенс получил патент на свое изобретение 16 июня 1657 г. В 1658 г. выходит в свет его книга «Horologium» с описанием изобретения и рекомендацией его использования для точного измерения времени (см.: Huygens Christiaan. Die Pendeluhr. Horologium oscillatorium. Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann, 1913, S. 193). Гюйгенс не перестал работать над усовершенствованием своих часов и после получения патента.



многим усовершенствовал часы, в частности впервые применил пружинный завод и маятник в качестве регулятора равномерности хода часов<sup>124</sup>. Кроме того, его первые часы в максимальной степени использовали элементы конструкции уже существовавших тогда механизмов, чтобы быстро трансформировать имевшиеся часы в маятниковые. Иначе говоря, как истинный инженер он учел и конструктивные, и технологические требования и ограничения.

Важно учитывать, что часы в то время представляли собой наиболее совершенную машину, а часовое дело было весьма развито в Европе. Часы в соответствии с особенностями машиностроения мануфактурного периода легко раскладывались на отдельные детали, доступные для изготовления рабочим разных специальностей. Кроме того, они использовались и как научный инструмент в различных областях науки, например астрономии, и стали образцовым объектом изучения в теоретической механике. Однако в течение длительного времени они были громоздкими и несовершенными. «Вопрос о введении точной меры времени приобрел очень острый характер в XVII в., эпохе столь великих открытий в области астрономии и физики. Дальнейший прогресс этих наук существенно зависел от введения точной меры времени. С XI же столетия вошли в употребление часы с колесами и гириями. Впоследствии эти часы были соединены с приспособлениями для боя. Во вторую половину XIV в. такие башенные часы существовали уже во многих городах. Регулировались эти часы либо при помощи вращающихся крыльев ... либо горизонтальной штангой с прикрепленными к ней гириями. Но ход этих часов был так неточен, что сторожу приходилось следить за ними и время от времени выверять их по Солнцу»<sup>125</sup>.

Для астрономических и других более точных измерений еще долго использовались водяные и ртутные часы. Колесные часы из-за их неточности сначала считались непригодными для научных исследований. «Правда, в 1484 г. *Вальтер* уже имел на своей обсерватории колесные часы, допускавшие отсчитывание четвертой секунды; для Кассельской обсерватории *Иост Бюрги* тоже изготовил знаменитые колесные часы; наконец, *Тихо де Браге* пользовался колоссальным инструментом того же типа; но все эти измерители времени требовали ежедневной проверочной установки и часто расстраивались. Поэтому открытие Галилеем маятника было встречено всеобщей радостью, и новым измерителем времени стали пользоваться как при физических, так и при астрономических работах. Однако в маятнике было то

<sup>124</sup> *Розинг Б.Л.* На заре положительного знания (Галилей, Гюйгенс, Ньютон). Пг.: Наука и школа, 1924, с. 31.

<sup>125</sup> *Даннеман Ф.* История естествознания. Т. II. От эпохи Галилея до середины XVIII века. М.-Л.: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1935, с. 244–245. «Самыми знаменитыми часами Германии были освященные в 1574 г. астрономические часы в Страсбургском соборе. Они были соединены с небесным глобусом, который еще теперь сохраняется в Страсбурге. За ним помещался вечный календарь. Астролябия показывала местонахождение планет в Зодиаке в данный момент времени и т. д.» (там же, с. 246).

неудобство, что он не отмечал самостоятельно истекшего времени и сверх того требовал повторных толчков, чтобы не остановиться»<sup>126</sup>. Поэтому Гюйгенс поставил перед собой цель создать точные часы, которые можно было бы использовать в качестве морского хронометра. Он не только был конструктором и изготовителем таких часов<sup>127</sup>, но и проверил их в реальных морских условиях. Часы Гюйгенса вместе с компасом и секстантом позволяли ориентироваться в море: сравнение показаний часов с астрономическим временем, определяемым по состоянию неба в данном месте, было способом определения долготы места.

Гюйгенс следующим образом описывает первое применение своих часов на море: «Двое первых часов такого рода были применены в морском путешествии в 1664 г. Вот что донес адмирал после возвращения в Англию его корабля вместе с другими тремя кораблями, бывшими вместе с ним. Отплыл от берегов Гвинеи и достигнув острова св. Фомы, лежащего на экваторе, он, после установки здесь своих часов, направился на запад и, пройдя, не останавливаясь, около семисот миль, стал испытывать действие ветра, относившего его назад, к берегам Африки. После того как он держался этого курса на протяжении 200—300 миль, командиры остальных кораблей, опасаясь, как бы не лишиться пресной воды, прежде чем достигнут берегов Африки, стали советовать повернуть к американским берегам для того, чтобы запастись ею. Тогда он, собрав шкиперов и приказав принести им их журналы, нашел, что расчеты их отличаются от его собственных у одного на 80 миль, у другого на сто, у третьего еще более. Справившись же с показанием часов, он нашел, что они находились не более 30 миль от острова *del Fuege*, недалеко от Африки, и могут его достигнуть на следующий день. Доверившись показаниям часов, он приказал направить туда свой курс, и, действительно, на следующий день в полдень он был в виду этого острова, а немного часов спустя бросил уже там якорь»<sup>128</sup>.

Однако главный вклад Гюйгенса в развитие инженерной деятельности заключался в том, что он построил и научные знания, которые могут быть использованы в технике, и продемонстрировал, как эти знания могут быть использованы при решении технических задач. «Простой маятник нельзя считать надежным и равномерным измерителем времени — пишет Гюйгенс. — Однако при помощи геометрии я нашел новый, до сих пор неизвестный, способ подвешивания маятников ... ход часов стал чрезвычайно правильным и надежным, как показали испытания на суше и на море. Великая польза этих часов для астрономии и мореплавания может считаться установленной»<sup>129</sup>. Таким образом, Гюйгенсом был задан образец не только нового типа инженерной деятельности, основывающейся, с одной стороны, на специально построенных научных знаниях, а с другой — на отношении параметров реального объекта, рассчитанных с помощью этих

<sup>126</sup> Розенбергер Ф. История физики. Ч. 2. М.-Л.: Объединенное научно-техническое издательство НКТП СССР, 1937, с. 162.

<sup>127</sup> Гюйгенс Хр. Три мемуара по механике. М.: АН СССР, 1951, с.11.

<sup>128</sup> Розинг Б. Л. На заре положительного знания (Галилей, Гюйгенс, Ньютон). Пг.: Наука и школа, 1924, с. 31—32.

<sup>129</sup> Гюйгенс Хр. Указ. соч., с. 9.

знаний, но, главное, одновременно и образец новой физической науки, опирающейся, с одной стороны, на математическое представление физических процессов, а с другой — на конструктивно-техническую схему физического эксперимента.

Инженерная задача, которую предстояло решить Гюйгенсу, заключалась в необходимости сконструировать часы с изохронным качанием маятника, т. е. подчиняющимся определенному физическому соотношению: время падения такого маятника от какой-либо точки пути до самой его низкой точки не должно зависеть от высоты падения. Анализируя движение тела, удовлетворяющее этому математическому соотношению, он приходит к выводу, что маятник будет двигаться изохронно, если он будет падать по циклоиде, обращенной вершиной вниз.

Циклоида — это бесконечная математическая кривая, образуемая точкой **М** на окружности производящего круга, который катится неограниченно долго по направляющей прямой, и состоящая из бесконечного ряда арок <sup>130</sup> (рис. 57).

Циклоида, — пишет Гюйгенс, — «из-за разных ее свойств исследовалась многими и много — ввиду ее пригодности для измерения времени, которую я обнаружил, исследуя ее по строгим методам науки и не подозревая о ее применимости» <sup>131</sup>. Таким образом, замещая техническую задачу физической проблемой, а затем математическим представлением, Гюйгенс переходит к решению математической задачи: по какой кривой должна двигаться точка, чтобы период ее колебаний не зависел от амплитуды, т. е. — в терминах физической проблемы, эквивалентной этой задаче, — чтобы время качания маятника не зависело от величины его размаха.

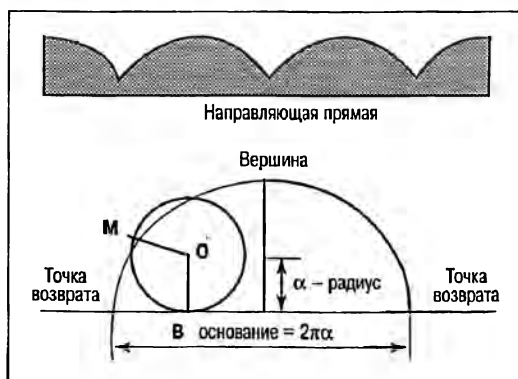
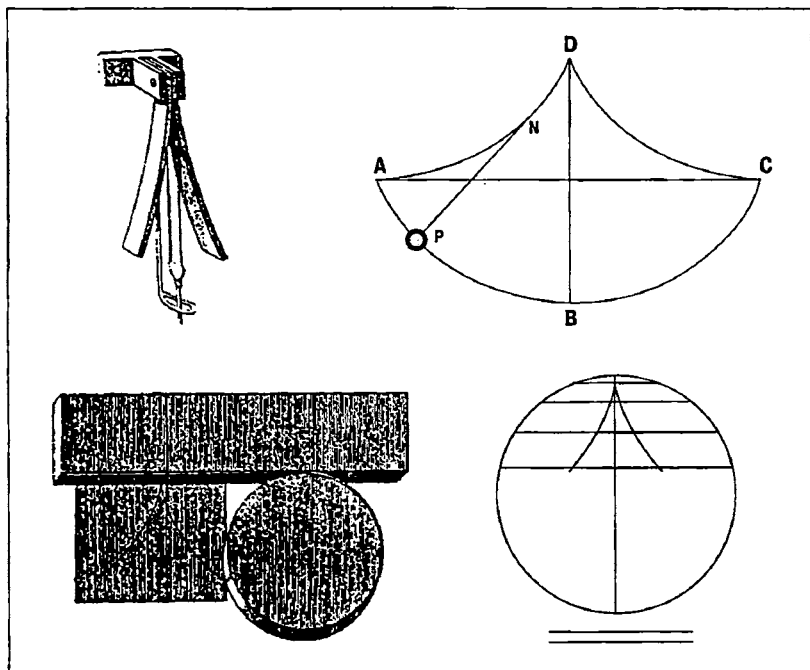


Рис. 57. Общий вид циклоиды и изображение одной арки с производящим кругом

<sup>130</sup> См.: Берман Г. Н. Циклоида. М.: Наука, 1980.

<sup>131</sup> Гюйгенс Хр. Указ. соч., с. 9.

Открыв далее, «что развертка циклоиды есть также циклоида», он подвесил маятник на нитке и поместил по обеим ее сторонам циклоидально изогнутые полосы так, «чтобы при качании нить с обеих сторон прилегала к кривым поверхностям. Тогда маятник действительно описывал циклоиду»<sup>132</sup> (рис. 58).



**Рис. 58. Конструкция маятниковых часов Гюйгенса и их геометрическое изображение**

Такому выводу предшествовали специальные исследования по теории механики. «Для применения этих доказательств потребовалось укрепить и, где нужно, дополнить учение великого Галилея о падении тел. Для применения моего изобретения, — пишет Гюйгенс, — (открытое мною свойство циклоиды) к маятникам мне необходимо было установить новую теорию»<sup>133</sup>, т. е. физическую теорию. «Галилеевский закон маятника вполне точен лишь для случая тяжелой точки, подвешенной на невесомой линии и совершающей бесконечно малые колебания однако при качании тела точки его в силу различного расстояния от точки привеса должны иметь различные периоды колебаний; отсюда возникал вопрос, *каким образом общая скорость целого*

<sup>132</sup> Гюйгенс Хр. Указ. соч., с. 12–33, 79, 91.

<sup>133</sup> Там же, с. 10.

тела *слагается из этих различных скоростей отдельных точек*». Таким образом, речь идет уже не о колебании точечного тела, что является в данном случае неправомерной математической абстракцией физического маятника, а о колебании сложного тела, состоящего из конфигурации грузов. На конце маятника предполагалось установить подвижный груз для регулирования периода его качания. Требовалась новая, более сложная математическая схема для описания такого физического процесса — качания сложного тела. «Исходя из основного положения, что во всяком качающемся теле центр его тяжести никогда не может подняться на высоту, большую той, с которой он начал падать, Гюйгенс отсюда выводит, что при качании тела центр его тяжести постоянно будет подниматься на одну и ту же высоту. Из последнего же положения выводится следующее правило: *для определения расстояния центра качания от оси вращения следует взять сумму произведений масс малейших частиц тела на квадраты их расстояний от оси вращения; затем образовать сумму произведений масс тех же частиц на их расстояния от оси вращения и первую сумму разделить на вторую ...* Эти колебания любых тел были сведены к колебаниям простого маятника, потому что благодаря данному правилу отыскание центра качания всякого тела превращалось в чисто математическую задачу, притом же Гюйгенс уже тогда открыл, что продолжительность качаний остается неизменной, если точки привеса и центр качания обменяются местами, благодаря чему центр качания можно определить и чисто экспериментальным путем. Гюйгенс впервые определил зависимость продолжительности качания от угла размаха и дал *формулу для вычисления абсолютного числа колебаний простого маятника по его длине. ...* Приняв во внимание, что колебание маятника тождественно движению тяжелого тела, скатывающегося по круговому пути под влиянием тяжести, он поставил вопрос: *по какому пути должна падать тяжелая материальная точка, чтобы время ее падения от какой-либо точки пути до самой низкой точки последнего было независимо от высоты падения и, следовательно, всегда было одно и то же.* Единственной кривой линией, удовлетворяющей этому условию, оказалась циклоида, обращенная вершиной вниз. Далее Гюйгенс доказал, что *для одного спуска и одного подъема (т. е. для одного качания) по такому пути требуется такая продолжительность времени, которая относится ко времени свободного падения по длине оси циклоиды, как окружность круга к своему диаметру ...* Достигнув таких результатов, Гюйгенс постарался сделать маятник своих часов не только приблизительно, но и *вполне изохронным; для этой цели он заменил круговой маятник циклоидальным*<sup>134</sup>. Именно таким образом он установил четкое соответствие математического описания и естественного (физического) процесса. Действительно, понятие «тяжелая точка» представляет собой как раз такой синкретический физически-математический объект, в котором математическая точка обладает тяжестью, присущей лишь физическим телам.

<sup>134</sup> Розенбергер Ф. Указ. соч., с. 154–155.

При этом, однако, не забыта и конечная цель: «Для изучения его (маятника) природы я должен был произвести исследование о центре качания ... Я здесь доказал ряд теорем ... Но всему этому я предпосылаю описание механического устройства часов и применения маятника в форме, оказавшейся наиболее удобной для астрономических целей. Легко по этому образцу строить часы для других целей, ведя необходимые изменения ...»<sup>135</sup>. Гюйгенс практически реализовал путь приложения научных знаний, намеченный Галилеем: от математической, геометрической схемы (циклоиды) к физическим представлениям и процессам (качание маятника) и далее к конструктивной схеме искусственного устройства (механизма часов). Он придумал приспособление для кругового маятника, обеспечивающее ему постоянный размах, т. е. конструкцию, которая осуществила на практике движение центра тяжести маятника по математической кривой — циклоиде. Первоначально в этих часах для этой цели использовались ограничители в форме шек, на которые частично наматывалась нить подвеса маятника.

Таким образом, в соответствии с техническими требованиями, предъявляемыми к работе механизма (часов), сначала устанавливается связь между определенным природным процессом, описанным в естественной науке (движение маятника по циклоиде), и данными требованиями. Затем эта связь воспроизводится (реализуется) с помощью имеющихся технических средств с конкретной конструкцией («новый до сих пор неизвестный способ подвешивания маятников»). Другими словами, Гюйгенс изобрел новый принцип действия будущей технической системы. Однако часы Гюйгенса — это воплощенная теория, первый аппарат, конструкция которого основана на законах новой науки. Исходя из технического требования, предъявляемого к функционированию маятника, и знаний механики, Гюйгенс определил конструкцию часов, которая может удовлетворять данному требованию. Решая эту техническую задачу, он отказывается от традиционного метода проб и ошибок, типичного для ремесленной технической деятельности, и обращается к науке. Гюйгенс сводит действия отдельных частей механизма часов к естественным процессам и закономерностям и, теоретически описав их, использует полученные знания для определения конструктивных характеристик нового механизма. Другими словами, используя установленные Галилеем отношения между научным знанием (абстрактным объектом теории) и реальной технической системой или экспериментальной ситуацией, он демонстрирует, каким образом полученное в теории и эксперименте соответствие идеального и реального объектов можно использовать в технических целях. Тем самым он одновременно задал в рамках частной теоретической схемы — теории физического маятника — и способ взаимодействия естествознания с инженерной деятельностью, которое затем стало основой технической науки, и взаимодействие поточной схемы физического процесса и структурной схемы нового экспериментального

---

<sup>135</sup> Гюйгенс Хр. Указ. соч., с. 10.

устройства, где главное место отводится первой из них. Таким образом, часы Гойгенса — это одновременно:

- техническая система, лежащая исследованию и конструированию;
- экспериментально-измерительное устройство, которое надо усовершенствовать, чтобы измерение времени в естественнонаучном эксперименте стало более точным;
- репрезентативный и удобный искусственный объект, замещающий природный объект для исследования закономерностей определенных естественных процессов (движений) в чистом виде, не встречающемся в природе.

*Разработка обобщенной онтологической схемы  
и математизированной теории  
(теоретическая механика Исаака Ньютона)*

Заключительная фаза построения развитой классической естественнонаучной теории — разработка гипотетической схемы теоретического объяснения, т. е. обобщенной онтологической схемы, «снимающей» частные теоретические модели, развитые на предыдущих этапах ее формирования. Именно на основе этой обобщенной онтологической схемы устанавливаются общие математические зависимости, причем математизация приводит к необходимости модификации первоначальных онтологических схем. Наконец, экспериментальные доказательства универсальности полученной теоретической модели завершают процесс формирования классической естественнонаучной теории.

Именно в этом смысле можно говорить о построении Ньютоном<sup>136</sup> развитой теоретической механики. Он прежде всего обобщил уже построенные до него частные теоретические модели в новой онтологии (специальной научной картине мира), позволяющей не только описывать и объяснять, но и предсказывать природные явления. Это было достигнуто благодаря созданию математизированной теории, в которой «геометрическая действительность» — слой функциональных схем — четко соответствовала «механической онтологии»

<sup>136</sup> «Исаак Ньютон родился 5 января 1643 г. в деревне Вулсторп, близ городка Грэнтем, севернее Кембриджа, в фермерской семье. Отец умер до рождения сына. Из-за перемен в семье (когда ему было 13 лет, умер его первый отчим) учеба в грэнтемской школе прерывалась. Только в 18 лет Ньютон поступил в Тринити-колледж в Кембридже. Двадцатилетнему Ньютону его учитель И. Барроу уступил люкасовскую кафедру (по имени Г. Люкаса, пожертвовавшего средства для ее основания). В это время Ньютон углубленно занимался оптикой, химией, не забывая и ферму в Вулсторпе. В конце XVII в. Ньютона привлекли к руководству деятельностью Монетного двора (с 1699 г. он стал главным его директором). В 1699 г. он был избран иностранным членом Парижской Академии наук. В 1703 г. он избран президентом Лондонского Королевского общества, членом которого он был с 1672 г., затем он был возведен в сан дворянства. Умер И. Ньютон 20 марта 1727 г.» (Тюлина И.А. История и методология механики. М.: Издательство Московского университета, 1979, с. 102–103).

(поточные схемы), а последняя, в свою очередь, — структурным схемам «гипотетических» экспериментальных ситуаций. По мнению Ньютона, «геометрия основывается на механической практике и есть не что иное, как та часть общей механики, в которой излагается и доказывается искусство точного измерения»<sup>137</sup>.

«Первая фундаментальная развитая теория физики — ньютоновская механика — создавалась как обобщение теоретических моделей и законов таких видов механического движения, как колебания маятника, свободное падение тел, движение тел по наклонной плоскости, движение планет (законы Кеплера) и т. д. Аналогичная ситуация наблюдается в истории термодинамики и классической электродинамики, где отдельные аспекты изучаемых процессов были отражены в развитой сети частных теоретических схем и законов задолго до того, как были построены первые обобщающие теории этих разделов физики.

Развитая теория строится на основе синтеза частных теоретических схем. Они включаются в состав теории в трансформированном виде и предстают как выводимые (конструируемые) из ее фундаментальной теоретической схемы. Соответственно все частные теоретические законы выступают как следствие фундаментальных законов теории»<sup>138</sup>.

В своих «Математических началах натуральной философии»<sup>139</sup> Ньютон подвел итог всему, что было сделано в области исследования движения, обобщил все построенные до него частные теоретические схемы. Например, десятая глава его трактата посвящена исследованию качания маятника, той частной теоретической схеме, которая, как мы видели, была детально разработана Гюйгенсом. Сам Ньютон определял построенную им теорию как «учение о движениях, производимых какими бы то ни было силами, и о силах, требуемых для производства каких бы то ни было движений», считая ее основной задачей «по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам объяснять остальные явления». Он начинает изложение своей теории с формулировки основных определений: «он определяет количество материи или массу тела как произведение из объема и плотности; величину движения — как произведение из массы и скорости; приписывает материи способность сопротивляться или оставаться в своем состоянии (покоя или равномерного прямолинейного движения) и переходит затем к двум крайне замечательным определениям силы. *Приложенная сила есть направленное на тело стремление изменить его состояние — покоя или равномерного прямолинейного движения. Центростремительная сила воздействует таким образом, что тело притягивается или толкается к какой-нибудь точке или к центру или вообще направляется каким-либо образом. Затем следуют определения*

<sup>137</sup> Ньютон И. Математические начала натуральной философии. В кн.: Крылов А.Н. Соч., т. VII. М.-Л.: Мысль, 1936, с. 1.

<sup>138</sup> Степин В.С. Становление научной теории. Минск: Наука, 1976, с. 142.

<sup>139</sup> Ньютон И. Указ. соч., с. 2, 3.



*абсолютной центостремительной силы как пропорциональной действующей причине, распространяющейся из центра на окружающее пространство; ускоряющей центральной силы как пропорциональной скорости, которая развивается за определенное время, и движущей центральной силы как пропорциональной образовавшейся за определенное время величине движения. Относительно последнего еще особо отмечается, что эта сила должна быть равна произведению ускоряющей центральной силы на массу движущегося тела, потому что величина движения равна произведению массы тела на скорость»<sup>140</sup>. В примечании он формулирует важнейшие для его теоретической системы понятия абсолютного и относительного времени и пространства:*

«I. Абсолютное, истинное математическое время само по себе и по самой своей сущности, без всякого отношения к чему-либо внешнему протекает равномерно и иначе называется длительностью.

Относительное, кажущееся или обыденное время есть или точная, или изменчивая, постигаемая чувствами внешняя, совершаемая при посредстве какого-либо движения, мера продолжительности, употребляемая в обыденной жизни вместо истинного математического времени, как-то: час, день, месяц, год.

II. Абсолютное пространство по самой своей сущности, безотносительно к чему бы то ни было внешнему, остается всегда одинаковым и неподвижным.

Относительное есть его мера или какая-либо ограниченная подвижная часть, которая определяется нашими чувствами по положению его относительно некоторых тел и которое в обыденной жизни принимается за пространство неподвижное»<sup>141</sup>.

Далее Ньютон формулирует следующие три закона движения:

«Закон I. Всякое тело продолжает удерживаться в своем состоянии покоя или равномерного и прямолинейного движения, пока и поскольку оно не понуждается приложенными силами изменять это состояние.

Закон II. Изменение количества движения пропорционально приложенной движущей силе и происходит по направлению той прямой, по которой эта сила действует.

Закон III. Действию всегда есть равное и противоположное противодействие, иначе — взаимодействие двух тел друг на друга между собою равны и направлены в противоположные стороны»<sup>142</sup>.

Первый и второй законы уже использовал Галилей. Ньютон формулирует ряд следствий из этих законов.

Введенные Ньютоном определения и три закона «задавали новую систему взаимосвязанных элементов реальной действительности, новую онтологию, оперирование с которой позволяло по-иному

<sup>140</sup> Розенбергер Ф. Указ. соч., с. 191–192.

<sup>141</sup> Ньютон И. Указ. соч., с. 30

<sup>142</sup> Там же, с. 39–41.

«видеть» и понимать реальные эмпирически наличные движения тел»<sup>143</sup>. Конечно, и до Ньютона ученые обращали внимание на притягательную силу Солнца, но именно он дал точное математическое доказательство того, что эта сила управляет движением планет, и впервые отождествил ее с земной тяжестью. Последующие экспериментальные работы подтвердили универсальность развитой Ньютоном теоретической модели. Например, всеобщность закона тяготения для всех тел, в том числе и на Земле, была подтверждена почти через 100 лет Кавендишем, который «обнаружил и измерил силу притяжения двух свинцовых шаров»<sup>144</sup>.

Сам Ньютон был сторонником решающего значения экспериментального изучения природы как методологической установки научного познания не только на словах, но и на деле — большинство описываемых им экспериментов были не только хорошо задуманными проектами, но и тщательно проведенными опытами. «Опыты Ньютона отличались поразительной точностью и стремлением количественно фиксировать характер наблюдаемых процессов. В этом отношении классическим произведением является «Оптика», и особенно ее вторая книга, где Ньютон излагает результаты своих экспериментов с тонкими прозрачными пластинками»<sup>145</sup>.

Приведем описание одного из таких оптических опытов, проведенного Ньютоном, в результате которого была открыта дисперсия (рассеяние) света. Прорезав в ставне затемненной комнаты круглое отверстие, он поместил вплотную позади отверстия призму, а на определенном расстоянии от нее — экран для получения солнечного изображения. На экране получился цветной спектр с прямолинейными сторонами и закругленными углами, ширина которого соответствовала видимому диаметру солнечного диска, «длина же была впятеро больше той, которая должна была бы получиться без дисперсии света».

Затем Ньютон постарался определить, была ли дисперсия света случайным явлением или же оно *необходимо связано с преломлением света в призме*. После того как в результате многочисленных опытов последнее подтвердилось и вместе с тем было доказано, что после преломления лучи снова распространяются прямолинейно, Ньютон пришел к убеждению, что *белый солнечный свет состоит из цветных лучей, что каждый различно окрашенный луч отклоняется при преломлении на различную величину и что, следовательно, благодаря преломлению многоцветный свет, обычно собранный в белый, разлагается и отбрасывается на различные места экрана*. Но если это так, то различные окрашенные лучи должны иметь даже в одних и тех же средах различные показатели преломления; *красные, судя по положению в спектре, должны всегда преломляться слабее всех прочих, а фиолетовые, наоборот,*

<sup>143</sup> Алексеев И. С. Структура механики Ньютона. В кн.: Системный анализ и научное знание. М.: Наука, 1978, с. 238.

<sup>144</sup> Розинг Б. Л. Указ. соч., с. 77.

<sup>145</sup> Гайденоко П. П. Эволюция понятия науки (XVII–XVIII вв.). М.: Наука, 1987, с. 246.

*сильнее*. Эти выводы Ньютон постарался подтвердить экспериментально, и опыт, приведший его к цели, который он вместе с тем считал вообще решающим для теории дисперсии, он назвал *experimentum crucis* — решающим экспериментом.

Опыт состоял в следующем: за призмой находился экран с очень маленьким отверстием, другой экран с таким же отверстием стоял в 12 футах (1 фут — это около 30,5 см. — В.Г.) позади нее, после чего помещались вторая призма и воспринимающий экран. «Поворачивая первую призму около преломляющего ребра, Ньютон мог пропустить через отверстие первого экрана любой из спектральных цветов; отверстие во втором экране еще более очищало избранный свет, так что на вторую призму падал свет уже почти однородный. При этом, как он и ожидал, оказалось, во-первых, что *вторая призма уже почти не рассеивает цветов, и, во-вторых, что показатель преломления постепенно возрастает от красного цвета к синему*. Когда таким образом выяснилось, что каждому цвету соответствует особый показатель преломления (и наоборот), то далее предстояло определить эти показатели в отдельности, но для этого нужно было раньше точно ограничить отдельные цвета. По теории Ньютона спектр состоит из отдельных различно окрашенных круглых пятен соответственно различной преломленности лучей; но так как края спектра были прямолинейны, то Ньютон решил, что спектр составляется из бесконечно большого числа кругов и что, следовательно, имеется *бесконечно большое количество цветов, постепенно переходящих друг в друга*»<sup>145</sup>.

Результаты открытия дисперсии света Ньютон использовал для объяснения радуги, а также в теории и практике создания телескопов. Показав, что искажение изображения в телескопах связано главным образом с дисперсией света, он разработал совершенно новую конструкцию — отражательный телескоп.

Сама идея изобретения была простой, а свойство вогнутых зеркал увеличивать изображение предметов известно давно. Однако на пути реализации этой идеи возникло много технических трудностей. Требования к качеству шлифовки зеркальной поверхности были очень высокими и выходили за пределы возможностей технической практики того времени. «Ньютон придумал способ полировки металлической

---

<sup>145</sup> *Розенбергер Ф.* Указ. соч., с. 163–164. Ньютон придавал этому эксперименту решающее значение и недоумевал, почему повторение его опыта не приводит к аналогичным результатам. Он предположил, что наблюдения ведутся при слишком широком отверстии экрана, вследствие чего вместо спектра получаются цветные коймы, а побочный спектр (вследствие отражения от боковых поверхностей призмы) принимается за главный, получаемый из-за преломления. Такого рода эксперимент требовал особого искусства и точности, поэтому небрежность в его проведении не приводила к ожидаемым результатам. Мариотт, например, недостаточно тщательно отделил лучи и поэтому не нашел фиолетовые лучи однородными. «Наконец, за несколько лет до смерти Ньютона венецианец *Рицетти* заявил, что он повторил все опыты Ньютона и нашел их все без исключения неудовлетворительными». А воспроизводимость эксперимента является в экспериментальном естествознании необходимым условием его доказательности и вообще научности. «Лейпцигский профессор *Г. Ф. Рихтер* отвечал ему, что виноват тут не Ньютон, а его собственное неумение и невнимательность», оксфордский же профессор и искусный экспериментатор *Дезагюлье* неопровержимо доказал в 1728 г. правоту Ньютона (там же, с. 169).

поверхности, занялся поисками подходящих сплавов и добился успеха»<sup>147</sup>. Он сам конструирует модель телескопа и затем несколько раз усовершенствует ее, работая фактически как изобретатель и конструктор: этот инструмент — «результат кропотливого труда. Его каждая деталь продумана и изготовлена»<sup>148</sup>. Ньютон разработал также новую технологию изготовления — полировки — металлических зеркал и описал этот сложный технологический процесс. «Полировка, которой пользовался я, была такого рода. Я имел две круглых медных пластинки, шесть дюймов в диаметре каждая, одну выпуклую, другую вогнутую, точно притертые одна к другой. К выпуклой пластинке я притирал объективный металл или вогнутое зеркало, которое нужно было полировать до тех пор, пока оно не принимало форму выпуклой пластинки и было готово к полировке. Затем я покрывал выпуклый металл очень тонким слоем смолы, капая расплавленной смолой на металл и нагревая его; для того чтобы сохранить смолу мягкой, в это время я притирал ее вогнутой медной пластинкой, смоченной для того, чтобы распределить смолу поровну по всей выпуклости. Тщательно обрабатывая смолу таким образом, я достиг толщины гроша; после того как выпуклость охлаждалась, я притирал ее снова, придавая ей возможно правильную форму. Затем я брал очень тонкую золу, отмытую от больших частиц, и, положив немного ее на смолу, притирал к смоле вогнутой медью до тех пор, пока не прекращался шорох; после этого я притирал быстрым движением объективный металл к смоле в течение около двух или трех минут, сильно на него нажимая. Далее я насыпал на смолу свежей золы, притирал ее снова до исчезновения шума и после этого, как и прежде, притирал объективный металл. Эту работу я повторял до тех пор, пока металл не отполировался, притирая его напоследок со всей моей силой в течение изрядного времени и часто дыша на смолу, для того чтобы держать ее сырой, не подсыпая свежей золы»<sup>149</sup>.

На примере деятельности Ньютона интересно заметить, что в новой экспериментальной науке ученые усваивали методы работы ремесленников, постепенно совершенствуя их и поднимая на недостижимую высоту. Ньютон в «Оптике» с гордостью отмечает: «Когда я сделал мои телескопы, один мастер в Лондоне пытался их повторить; пользуясь, однако, способом полировки, отличным от моего, он достиг значительно меньшего, чем я, как я узнал позднее из разговора с одним рабочим, служащим у него»<sup>150</sup>. Ученые создавали образцы для подражания ремесленникам-техникам и тем самым внедряли в их среду новый стиль научно-инженерного мышления и деятельности. Но одновременно в среде ученых укоренялось и техническое отношение

<sup>147</sup> Погребыская Е.И. Оптика Ньютона. М.: Наука, 1981, с. 46.

<sup>148</sup> Гуриков В.А. Становление прикладной оптики XV–XIX вв. М.: Наука, 1983, с. 50.

<sup>149</sup> Там же, с. 87.

<sup>150</sup> Ньютон И. Оптика, или Трактат об отражениях, преломлениях, изгибаниях и цветах света. М.-Л.: Мысль, 1927, с. 87.

к экспериментальной деятельности. «Так как ремесленники довольствуются в работе лишь малой степенью точности, то образовалось мнение, что механика тем отличается от геометрии, что все вполне точное принадлежит геометрии, менее точное относится к механике. Но погрешности заключаются не в самом ремесле или искусстве, а принадлежащей исполнителю работе: кто работает с меньшей точностью, тот — худший механик, а если бы кто-нибудь смог исполнить изделие с совершеннейшей точностью, тот был бы наилучшим из всех механиков. В этом смысле рациональная механика есть учение о движениях, производимых какими бы то ни было силами, и о силах, требуемых для производства каких бы то ни было движений, точно изложенное и доказанное»<sup>151</sup>.

Фактически Ньютон не только построил образцовую естественно-научную математизированную теорию и обобщенную онтологическую схему в ней, но и сформулировал научную программу, определившую на долгие годы направление развития не только физики, но и всего экспериментального и математизированного естествознания, получившую наименование «классической». В рамках физической теории эта программа реализовывалась в виде *принципа дальнего действия* в качестве альтернативы другой научной программе, основывавшейся на *принципе близкого действия* и развиваемой в рамках картезианской физики (названной так по латинизированному варианту имени выдающегося французского ученого и философа Рене Декарта<sup>152</sup>). Различие этих программ выразилось в разладе «*между физиками Франции и Англии*», учениками Декарта и Ньютона. «Вольтер, посетивший Англию в 1727 г., писал по этому поводу: «В Париже вселенную видят наполненной эфирными вихрями; здесь же в том же мировом пространстве ведут свою игру невидимые силы»<sup>153</sup>.

В картезианской физике для каждого явления отыскиваются механические схемы, вскрывающие «механизм» природного явления, а передача силового воздействия посредством пустоты объявляется абсурдной. Материя здесь отождествляется с пространством, а понятие абсолютного пространства, отделенного от материи, как «вместительница» всего, что существует в физическом мире, теряет смысл. Передача или передача силы осуществляется в этом случае посредством соприкосновения, отсюда — наличие материального круга или кольца одновременно и совместно движущихся тел, что нашло выражение в так называемой теории вихрей. «Вселенную Декарт подразделял на три различные области: первая включает в себя вихрь вокруг Солнца, вторая — вихри вокруг звезд, а все, что находится вне этих двух областей, отнесено к третьей. Вместе со своим вихрем Земля движется по орбите вокруг Солнца, вращаясь вокруг своей оси. Исходя из теории вихрей, Декарт пытался разъяснить все явления,

<sup>151</sup> Ньютон И. Математические начала натуральной философии. В кн.: Кривол А.И. Соч., т. VII. М.-Л.: Мысль, 1936, с. 2.

<sup>152</sup> Картезий — латинизированная фамилия Декарта.

<sup>153</sup> Розенбергер Ф. Указ. соч., с. 205.

наблюдаемые на небе а также выявить закон движения небесных светил»<sup>154</sup>.

Ньютон опровергал вихревую гипотезу Декарта как необоснованную, утверждая, что если бы космическое пространство было заполнено материей, то она оказывала бы сопротивление движению тел и движения планет не были бы замкнутыми. Однако наблюдения показывают, что планеты движутся по эллиптическим орбитам в соответствии с кеплеровскими законами. Следовательно, картезианская гипотеза вихрей, по утверждению Ньютона, неверна<sup>155</sup>, а пространство не заполнено материей, т. е. является пустым. Ньютон разделяет пространство и материю, утверждая реальное существование абсолютного пространства, причиной реального движения в котором является сила. Материя для Ньютона — это нечто пассивное по своей природе. «Врожденная сила материи есть присущая ей способность сопротивления, по которой всякое отдельно взятое тело, поскольку оно предоставлено самому себе, удерживает свое состояние покоя или равномерного прямолинейного движения»<sup>156</sup>. Таким образом, при отсутствии сопротивления материи тело будет бесконечно двигаться, но если материя пассивна по природе, то в природе должно существовать активное начало. Такой активной силой природы, по Ньютону, является тяготение. На Земле оно выражается в виде тяжести (земного тяготения), в Космосе — в виде космического притяжения. Поэтому законы тяготения являются общими как для подлунной, так и для надлунной сферы, а кеплеровские планетарные законы — частным случаем законов движения вообще. Именно допущение сил тяготения, предполагающих возможность непонятно как происходящего действия на расстоянии, явилось основанием критики картезианцами Ньютона как допускающего существование «скрытых качеств».

В сущности и Декарт и Ньютон, предполагая бесконечное изотропное пространство и однородную материю, исходят из посылки, что каждая вещь пребывает в том состоянии, в котором она находится, пока ничто ее не изменит: если тело приведено в движение, то при отсутствии сопротивления оно будет бесконечно двигаться без всякого

---

<sup>154</sup> Матвиевская Г. П. Рене Декарт. 1596–1650. М.: Наука, 1976, с. 100.

<sup>155</sup> «Ньютон находит, что когда шар вращается в какой-либо среде около постоянной оси и только этим приводит в движение частицы окружающей среды, то периоды оборотов частиц находятся в квадратном отношении к их расстояниям от центра. Но движение в приложении к планетам противоречит третьему кеплеровскому закону, и отсюда Ньютон выводит полную неприемлемость декартовской теории вихрей. При этом он, однако, оставляет без внимания ряд вспомогательных гипотез Декарта, и в особенности ту, согласно которой всякая планета, бывшая некогда центральным телом, вступает в центральный вихрь с некоторою собственною скоростью и во всяком случае следует уже за вихрем сообразно своей массе с видоизмененною скоростью. Вообще, по-видимому, Ньютон и его ученики не очень углублялись в изучение работ Декарта, иначе они, конечно, заметили бы, что хотя картезианская система и была совершенно недостаточна для объяснения явлений, но доказать ее несостоятельность было не так легко, как им казалось» (Розенбергер Ф. Указ. соч., с. 197–198).

<sup>156</sup> Ньютон И. Указ. соч., с. 27.

двигателя. Оба вынуждены тогда искать причину криволинейных движений, имея в виду прежде всего орбиты планет. «Декарт для объяснения криволинейных — и круговых в том числе — движений вводит вихри, Ньютон же — силу тяготения. Разница при этом очень существенная: по Декарту, движущееся тело отклоняется от прямолинейной траектории из-за механического препятствия, оказываемого повсеместно заполненной средой, которая таким образом непосредственно воздействует на движущееся тело. По Ньютону, это искривление траектории происходит в силу притяжения одного тела другим, обладающим большей массой (хотя притяжение тел и является взаимным), и, таким образом, производится силой, действующей на расстоянии»<sup>157</sup>.

И хотя Ньютон и Декарт развили альтернативные научные программы классического естествознания, основанные на различных принципах дальнего действия и ближнего действия (парадигмой естественнонаучной теории на долгие годы стала ньютоновская программа, а картезианская физика ближнего действия значительно позже стала основой максвелловской электродинамики, о чем речь пойдет ниже), обе они внесли большой вклад в развитие физической науки.

## 2. Естественные и технические науки. Становление технической теории

### *Технические науки и инженерная деятельность*

Инженеры, провозглашая ориентацию на науку, в практической деятельности руководствовались ею незначительно. После многих веков разделения наука и техника соединились в XVII в., в начале научной революции. Однако лишь к XIX в. это единство приносит первые плоды, и только в XX в. наука становится главным источником новых видов техники и технологии.

Научная техника первоначально означала использование в качестве научной основы создания техники лишь естествознание. В XIX в. «техническое знание было вырвано из вековых ремесленных традиций и привито к науке. Техническое сообщество, которое в 1800 году было ремесленным, мало отличается от средневекового, становится «кривозеркальным двойником» научного сообщества. Ремесленник был заменен в авангарде технического прогресса новым поколением ученых-практиков. Устные традиции, переходящие от мастера к ученику, новый техник заменил обучением в колледже, профессиональную организацию и техническую литературу сделал по образцу научной»<sup>158</sup>. Техника стала научной не в том смысле, что выполняла предписания науки, а в том, что выработала особые науки — технические.

<sup>157</sup> Гайденок П. П. Указ. соч., с. 258–259.

<sup>158</sup> Layton E. T. American Ideologies of Science and Engineering. In: Technology and Culture, 1976, № 4, p. 680.

В период зарождения технических наук (со второй половины XVIII в. до 70-х гг. XIX в.), во-первых, формируются научно-технические знания на основе использования в инженерной практике знаний естественных наук и, во-вторых, появляются первые технические науки. Этот процесс в новых областях практики и науки происходит, конечно, и теперь, однако первые образцы такого способа формирования научно-технических знаний относятся именно к данному периоду. Классический период (до середины XIX в.) характеризуется возникновением ряда технических теорий. Наконец, в настоящее время намечился этап осуществления комплексных исследований, интеграции технических наук не только с естественными, но и общественными науками; вместе с тем происходит процесс дальнейшей дифференциации и «отпочкования» технических наук от естественных и общественных.

Технические науки представляют собой особый класс научных (научно-технических) дисциплин, отличающихся от естественных наук, хотя между ними существует довольно тесная связь. Технические науки возникали в качестве прикладных областей исследования естественных наук, используя, но и значительно видоизменяя их теоретические схемы, развивая их знания. Однако это не единственная причина их возникновения — важную роль сыграла здесь математика.

Как показывают конкретные исторические исследования, посвященные взаимодействию техники и науки в конце XIX — начале XX вв., часто очень трудно отделить использование научных знаний от их создания и развития: «инженеры сознательно или несознательно использовали и пытались формулировать общие утверждения или законы; математика была для них аналитическим средством и языком; ими формулировались гипотезы и проектировались эксперименты для лабораторной или натурной проверки этих гипотез. То, что было характерно для их работы и методов, обычно маркируется как наука»<sup>159</sup>. Инженеры использовали не столько готовые научные знания, сколько научный метод. Кроме того, в самих технических науках постепенно получают широкое распространение фундаментальные исследования с прикладными целями, которые проводятся в интересах техники. Все это свидетельствует об условности границ между фундаментальными и прикладными исследованиями. Поэтому следует говорить о различии фундаментальных и прикладных исследований и в естественных, и в технических науках, а не о противопоставлении фундаментальных и прикладных наук, неизменно относя к первым естественные, а ко вторым — технические науки.

Технические и естественные науки должны рассматриваться как равноправные научные дисциплины. Технические науки — часть науки, и, хотя они не должны слишком явно отходить от технической практики, обслуживая технику, они являются прежде всего науками, т. е. направлены на объективное, поддающееся передаче знание.

---

<sup>159</sup> Hughes T.P. The Science-Technology Interaction: The Case of High-Voltage Power Transmission Systems. In: Technology and Culture, 1976, vol. 17, № 4, p. 659.



Становление технических наук связано с приданием инженерному знанию формы, аналогичной науке. В результате сформировались профессиональные общества, подобные научным, научно-технические журналы, исследовательские лаборатории, а математические теории и экспериментальные методы науки были приспособлены к техническим нуждам. Таким образом, в XX в. инженеры заимствовали из науки не просто результаты научных исследований, но и ее методы и социальные институты, с помощью которых смогли сами генерировать специфические знания, необходимые для их сообщества. В области современной техники функционируют ученые, создающие технику, и инженеры, работа которых является научной (если они работают, например, в университете и не выполняют практических обязанностей), хотя свои научные результаты они публикуют в соответствующих технических журналах. Точка зрения, согласно которой фундаментальная наука генерирует все знания, которые затем просто применяются инженером на практике, не соответствует реальному положению дел в современной технике.

Действительно, сегодня множество исследовательских лабораторий в различных отраслях промышленности вынуждено работать в сфере чисто научного исследования, т. е. создавать теоретические знания, хотя и специфического вида, а не только применять уже полученные в естественной науке знания. Часто целевые исследования, проводимые в промышленных лабораториях исследователями, получившими инженерное образование, приводят к фундаментальным научным открытиям, а ученым, работающим в университетах или академических институтах, принадлежат важные изобретения в области техники и технологии. Поэтому технические науки должны рассматриваться не как придаток естественных наук, а как самостоятельные научные дисциплины наряду с общественными, естественными и математическими науками. Вместе с тем специфика их связи с техникой существенно отличает их от этих наук.

Технические и естественные науки занимают одну и ту же предметную область инструментально измеримых явлений. В то же время, исследуя одни и те же объекты, они исследуют их по-разному. В технических науках инженерная деятельность, как правило, заменяет эксперимент. Именно в процессе инженерной деятельности проверяется адекватность теоретических выводов технической теории и возникает новый эмпирический материал. Это отнюдь не означает, что технические науки отвергают эксперимент — просто при практическом обосновании теоретических выводов приоритетная роль отводится не эксперименту, а инженерной практике.

Технические науки к началу XX в. представляли собой сложную систему знаний — от весьма систематических наук до собрания правил в инженерных руководствах. Некоторые из них (например, сопротивление материалов и гидравлика) базировались непосредственно на науке и часто рассматриваются как отрасли физики, другие (например, кинематика механизмов) возникли на основе инженерной практики. И в этом, и в другом случае инженеры заимствовали и

теоретические и экспериментальные методы науки вместе со многими ценностями и институтами, связанными с их использованием. К началу XX в. технические науки, основанные на практике, приобрели свойства науки (в плане систематической организации знаний, опоры на эксперимент и развития математизированной теории). В технических науках получили развитие особые фундаментальные исследования.

Таким образом, естественные и технические науки равноправны. Технические науки тесно связаны с естественными как в генетическом аспекте, так и в процессе их функционирования. Именно из естественных наук в технические были транслированы первые исходные теоретические положения, способы представления объектов исследования и проектирования и основные понятия, идеал самой научности, установка на теоретическую организацию научно-технических знаний, построение идеальных моделей, математизацию. Однако все заимствованные из естествознания элементы претерпели в технических науках существенную трансформацию, в результате чего возник новый тип организации теоретического знания. Кроме того, технические науки, со своей стороны, значительно стимулируют развитие естественных наук, оказывая на них обратное воздействие.

Однако сегодня такой констатации уже недостаточно. Для определения специфики технического знания и технических наук необходим анализ их строения, на основе которого впоследствии может быть пересмотрена и углублена и сама классификация. Кроме того, утверждение, что основой технических наук является лишь точное естествознание, некорректно и может быть справедливым лишь по отношению к первым техническим наукам. В настоящее время научно-технические дисциплины представляют собой широкий спектр различных дисциплин — от самых абстрактных до весьма специализированных, которые ориентируются не только на использование знаний естественных (притом не только физики, но и химии, биологии и др.), но и общественных (например, инженерно-экономические исследования) наук. Относительно некоторых научно-технических дисциплин вообще трудно сказать, принадлежат ли они к чисто техническим наукам или образуют какое-то иное более сложное единство науки и техники. Кроме того, некоторые области технических наук могут иметь характер фундаментального, а другие — прикладного исследования. Творческие и нетворческие элементы имеют место и в естественных, и в технических науках, однако сам процесс приложения является не односторонним процессом, а последовательностью итераций и точно так же связан с выработкой новых знаний.

Технические науки могут рассматриваться и как академические дисциплины. Для инженерной деятельности требуются не только краткосрочные исследования с целью решения специальных задач, но и широкая долговременная программа фундаментальных исследований в лабораториях и институтах, специально предназначенных для развития технических наук. В то же время современные фундаментальные исследования (особенно в технических науках) в наибольшей степени предназначены для приложения, чем раньше. Для современного

этапа развития науки и техники вообще характерно использование методов фундаментальных исследований для решения прикладных проблем. Поэтому можно говорить и о фундаментальных исследованиях в области технических наук.

Таким образом, в научно-технических дисциплинах необходимо четко различать исследования, включенные в инженерную деятельность (независимо от их организационных форм), и теоретические исследования, которые мы будем называть *технической теорией*<sup>160</sup>.

Чтобы выявить особенности технической теории, ее сравнивают прежде всего с естественнонаучной теорией. Для современной науки характерно ответвление специальных технических теорий. Это происходит за счет построения специальных моделей в двух направлениях – формулировки теорий технических структур и конкретизации общих научных теорий. Многие первые научные теории были, по-существу, теориями научных инструментов, т. е. технических устройств: например, физическая оптика – это теория микроскопа и телескопа, пневматика – теория насоса и барометра, термодинамика – теория паровой машины и двигателя.

В технической науке теория – это не только вершина исследовательского цикла и ориентир для дальнейшего исследования, но и основа системы правил, предписывающих ход оптимального технического действия. Такая теория либо рассматривает объекты действия (например, машины), либо относится к самому действию (например, к решениям, которые предшествуют и управляют производством или использованием машин).

Наибольшее различие между физической и технической теориями заключается в характере идеализации: физик может сконцентрировать внимание на наиболее простых случаях (например, элиминировать трение, сопротивление жидкости и т. д.), но все это является весьма существенным для технической теории и должно приниматься ею во внимание. Таким образом, техническая теория имеет дело с более сложной реальностью, поскольку не может элиминировать сложное взаимодействие физических факторов, имеющих место в машине. Техническая теория менее абстрактна и идеализирована, более тесно связана с реальным миром инженерии.

Например, Б. Франклин подчеркивал, что законы Бойля и Мариотта не давали возможность описать действительное функционирование парового двигателя, и считал свою деятельность сочетанием инженерной статистики с общими законами науки, т. е.

---

<sup>160</sup> Понятие «техническая теория» в отечественной философской литературе было введено В.В. Чешевым (см.: Чешев В.В. О взаимосвязи технических и естественных наук. Ученые записки ТГУ, № 70 // Проблемы методологии и логики науки. Вып. 4. Томск, 1968, с. 87–89; и другие его работы). Необходимость и важность теоретических исследований в технических науках подчеркивают многие крупные ученые. Например, академик А.А. Благонравов утверждал: «Без глубоких теоретических исследований, позволяющих открывать и использовать все новые и новые закономерности, нельзя думать о полноценном исследовании природных, энергетических и материальных ресурсов, нельзя разрабатывать новые, совершенные технологические процессы, нельзя создавать новые материалы, отвечающие все расширяющимся требованиям техники. Теоретические исследования в области технических наук должны быть подчинены этим задачам» (Фролов К.В., Прохоренко А.А., Усков М.К. Анатолий Аркадьевич Благонравов. М.: Наука, 1982, с. 209).

Франклин ввел инженерные принципы (которые были не утверждениями о природе, а скорее правилами для проектирования искусственного объекта) в законы науки. Техническая теория отличается от физической тем, что связана с искусственными, а не естественными объектами. Для нее характерны идеализированные описания и представления машин, балок, тепловых двигателей и других технических устройств, а результаты ее являются утверждениями об этих устройствах, а не о природе <sup>161</sup>.

Специальный когнитивный статус технических теорий выражается в том, что технические теории имеют дело с артефактами, а естественные научные теории — с природой. Однако противопоставление естественных объектов и артефактов еще не дает реального основания для такого различия. Почти все явления, изучаемые современной экспериментальной наукой, созданы в лабораториях и в этом смысле искусственны.

Максвелл был одним из ученых, которые пытались сделать вклад в технику (и он действительно оказал на нее большое влияние), но потребовались творческие усилия британского инженера Хэвисайда, чтобы преобразовать электромагнитные уравнения Максвелла в форму, которая могла быть применима инженерами на практике. Таким образом, для того чтобы информация перешла от одного сообщества (ученых) к другому (инженеров); необходима ее серьезная переформулировка и развитие. А для этого требуются люди, принадлежащие в определенном смысле к обоим этим сообществам. Эти посредники («ученые-инженеры» или «инженеры-ученые») и развивают постепенно ведущую техническую теорию <sup>162</sup>. Например, шотландский ученый-инженер Ранкин — вездущая фигура в создании термодинамики и прикладной механики — связал практику построения паровых двигателей высокого давления с научными законами (к такого рода двигателям закон Бойля–Мариотта, как оказалось, не мог быть применим). Ранкин доказывает необходимость развития промежуточной формы знания между физикой и техникой, заключающейся в единстве теории и практики: действия машины должны основываться на теоретических понятиях, а свойства материалов надо выбирать на основе твердо установленных экспериментальных данных. В паровом двигателе изучаемым материалом был пар, а законы его действия были законами создания и исчезновения теплоты, основанными на формальных теоретических понятиях. Поэтому работа двигателя в равной мере зависела и от свойств пара (устанавливаемых практически) и от состояния теплоты в этом паре. Ранкин сконцентрировал свое внимание на влиянии законов теплоты на свойства пара, но в соответствии с его моделью и свойства пара могут изменить действие теплоты. Такой анализ действия расширения пара позволил Ранкину выявить причины потери эффективности двигателей и рекомендовать конкретные мероприятия, уменьшающие негативное действие расширения. Модель технической науки, предложенная Ранкиным, обеспечила применение теоретических идей к практическим проблемам и привела к образованию новых понятий (например, нагрузки) на основе объединения элементов науки и техники <sup>163</sup>.

Технические теории оказывают, в свою очередь, большое обратное влияние на физическую науку и даже в определенном смысле на

<sup>161</sup> Layton E. Указ. соч., vol. 17, № 4.

<sup>162</sup> Layton E. *Mirror-Image Twins: The Communities of Science and Technology in 19th Century America*. In: *Technology and Culture*, 1971, vol. 12, № 4.

<sup>163</sup> Channell D.F. *The Harmony of the Theory and Practice; the Engineering Science of W.J.N. Rankine*. In: *Technology and Culture*, 1982, vol. 23, № 2.

физическую картину мира. Например, теория упругости (по сути техническая) была генетической основой модели эфира, а гидродинамика — основой вихревых теорий материи.

Разделение исследований в технических науках на фундаментальные и прикладные позволяет рассматривать техническую теорию как предмет особого философско-методологического анализа и перейти к изучению ее внутренней структуры.

### ***Особенности строения технической теории и характер ее взаимодействия с инженерной практикой***

*Абстрактные объекты технической теории* обладают рядом особенностей. Прежде всего они являются «однородными» в том смысле, что собраны из некоторого фиксированного набора блоков по определенным правилам сборки; в электротехнике это емкости, индуктивности, сопротивления, в теоретической радиотехнике — генераторы, фильтры, усилители и т. д., в теории механизмов и машин — различные типы звеньев, передач, цепей, механизмов. Эти идеализированные блоки соответствуют стандартизованным конструктивным элементам реальных технических систем. В теоретических схемах технической науки задается образ исследуемой и проектируемой технической системы.

Специфика технической теории состоит в том, что она ориентирована не столько на объяснение и предсказание хода естественных процессов, что характерно для естественнонаучной теории, сколько для конструирования технических систем. Научные знания и законы, полученные естественнонаучной теорией, требуют еще длительной доводки для применения их в решении практических инженерных задач, в чем и состоит одна из функций технической теории.

Например, академик С.А. Христианович, исследуя движение грунтовых вод через крупнозернистые пески или щебень, показал, что в данном случае закон Дарси, устанавливающий соотношение между уклоном и скоростью фильтрации однородной несжимаемой жидкости, не действует, так как не учитывает целый ряд факторов, важных для решения практических инженерных задач. Анализируя распределение давления газа вблизи движущейся свободной поверхности угля, обрушение кровли при горной выработке или деформацию упрочняющего пластического материала, С.А. Христианович использует практический инженерный опыт для корректировки известных теоретических положений соответствующей естественнонаучной теории (в данном случае механики твердого тела). «Состояние теории пластической деформации, — пишет он, — несмотря на большое число теоретических исследований, оставляет чувство неудовлетворенности. Сейчас накопилось достаточно экспериментального материала, который отчетливо показывает, что во многих случаях наблюдаются не оставляющие сомнений качественные противоречия между выводами классических теорий и экспериментом. Это побуждает к пересмотру основных положений теории»<sup>164</sup>. Он формулирует новые понятия и положения именно технической теории, в которой теоретическое рассмотрение тесно переплетается с непосредственными практическими приложениями.

<sup>164</sup> Христианович С.А. Механика сплошной среды. М., 1981, с. 442.

Теоретические знания в технических науках обязательно должны быть доведены здесь до уровня практических инженерных рекомендаций. Выполнению этой задачи служат в технической теории правила соответствия, перехода от одних модельных уровней к другим, а проблема интерпретации и эмпирического обоснования в технической науке формулируется как задача реализации. Поэтому в технической теории важную роль играют разработка особых операций перенесения теоретических результатов в область инженерной практики, установление четкого соответствия между сферой абстрактных объектов технической теории и конструктивными элементами реальных технических систем, что фактически соответствует теоретическому и эмпирическому уровням знания.

Английский ученый Роберт Виллис, один из создателей теории механизмов и машин, еще в 1841 г. различал «чистый» и «конструктивный» механизмы, первый из которых является продуктом обобщения, т. е. абстрактным объектом технической теории, а второй представляет собой пунктуальное описание действительной конструкции машины, т. е. принадлежит к эмпирическому уровню знания. Кроме того, Виллис устанавливает соответствие между «чистым» и «конструктивным» механизмами. Конечно, «конструктивный» механизм — это тоже результат некоторой идеализации, однако его элементы четко соответствуют конструктивным блокам реальной машины. В свою очередь, чистым движениям, описываемым в «чистом» механизме, адекватны типовые конструктивные элементы (ведущее и ведомое звенья) «конструктивного» механизма и связи между ними (соприкосновение качением, скольжением и т. д.). При конструировании передаточного механизма инженер должен был производить его расчет два раза: с точки зрения кинематики («чистого» механизма), т. е. независимо от сил, и с точки зрения статики («конструктивного» механизма), что определяло двухслойность его рассмотрения. Результат, полученный французским ученым Луи Пуансо в области теории вращения тел, доказавший параллелизм основных понятий статики и кинематики, дал возможность Виллису обеспечить переход от кинематического представления машины как системы преобразований движения к статическому конструктивному изображению. Если заменить в положениях статики понятия «сила» и «пара сил» понятиями «скорость вращательного» и «скорость поступательного движения», то они будут преобразованы в понятия кинематики, поскольку все возможные движения твердого тела могут быть сведены к этим основным типам<sup>165</sup>.

*Эмпирический уровень* технической теории образуют конструктивно-технические и технологические знания, являющиеся результатом обобщения практического опыта при проектировании, изготовлении, отладке технических систем. Это эвристические методы и приемы, разработанные в инженерной практике, но рассмотренные в качестве эмпирического базиса технической теории.

*Конструктивно-технические знания* преимущественно ориентированы на описание строения (конструкции) технических систем, представляющих собой совокупность элементов, имеющих определенную форму, свойства и способ соединения. К ним относятся также

---

<sup>165</sup> Боголюбов А. Н. Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М.: Наука, 1976, с. 164; см. также: Willis R. The Principles of Mechanism. London, 1870, p. 4.

знания о технических процессах и параметрах функционирования этих систем.

*Технологические знания* фиксируют методы создания технических систем и принципы их использования. Эмпирические знания технической науки отображаются на ее теоретическом уровне в виде многослойных теоретических схем, абстрактных объектов различных уровней. Однако эмпирический уровень технической теории образуют не только конструктивно-технические и технологические знания, которые по сути дела ориентированы на обобщение опыта инженерной работы, но и особые *практико-методические знания*, т. е. практические рекомендации по применению научных знаний, полученных в технической теории. Это фактически те же конструктивно-технические и технологические знания, но являющиеся уже не результатом обобщения практического опыта инженерной работы, а продуктом теоретической деятельности в области технической науки, и сформулированные в виде рекомендаций для еще не осуществленной инженерной деятельности. Такие рекомендации, однако, формулируются на основе полученных в технической теории теоретических знаний в специальных научно-технических и инженерных исследованиях. В них формулируются также задачи, стимулирующие развитие технической теории.

*Теоретический уровень* научно-технического знания включает в себя три основных вида теоретических схем: функциональные, поточные и структурные (рис. 59).

*Функциональная схема* фиксирует общее представление о технической системе независимо от способа ее реализации и является результатом идеализации этой системы на основе принципов определенной теории. Каждый элемент в системе выполняет определенную функцию. Совокупность такого рода свойств, рассмотренных обособленно от нежелательных свойств, которые привносит с собой элемент в систему, и определяет блоки (или функциональные элементы) таких схем. Как правило, блоки выражают обобщенные математические операции, а функциональные связи (или отношения) между ними — определенные математические зависимости.

В теории электрических цепей, например, функциональные схемы представляют собой графическую форму математического описания состояния электрической цепи. Каждому функциональному элементу такой схемы соответствует определенное математическое соотношение (скажем, между силой тока и напряжением на некотором участке цепи) или вполне определенная математическая операция (дифференцирование, интегрирование и др.). Порядок расположения и характеристики функциональных элементов адекватны электрической схеме. Так, при расчете электрических цепей с помощью теории графов элементы электрической схемы — индуктивности, емкости, сопротивления и др. — заменяются согласно определенным правилам особым идеализированным функциональным элементом — унитаром, который имеет только одно функциональное свойство: пропускать электрический ток лишь в одном направлении. К полученной после такой замены однородной теоретической схеме могут быть применены топологические методы анализа электрических цепей. В качестве функциональной схемы может быть использована также потенциальная диаграмма, позволяющая весьма быстро находить



Рис. 59. Структура и функционирование технической теории



напряжения между любыми точками электрической цепи (каждой точке цепи соответствует определенная точка потенциальной диаграммы по построению): действующее значение и фаза исходного напряжения определяются прямой, соединяющей соответствующие точки потенциальной диаграммы. Для такой замены используют различные методы – комплексный, контурных токов, узловых напряжений, наложений и др.

В классической технической науке функциональные схемы всегда привязаны к определенному типу физического процесса, т. е. к определенному режиму функционирования технического устройства, и всегда могут быть отождествлены с какой-либо математической схемой или уравнением. Однако они могут быть и не замкнуты на конкретный математический аппарат. В этом случае они выражаются в виде простой декомпозиции взаимосвязанных функций, направленных на выполнение общей цели, предписанной данной технической системе. С помощью такой функциональной схемы строится алгоритм функционирования системы и выбирается ее конфигурация (внутренняя структура).

*Поточная схема*, или схема функционирования, как уже говорилось, фиксирует естественные процессы, протекающие в технической системе и связывающие ее элементы в единое целое. Блоки таких схем отражают различные действия, выполняемые над естественным процессом элементами технической системы в ходе ее функционирования. Такие схемы строятся исходя из естественнонаучных (например, физических) представлений.

Снова приведем пример из теории электрических цепей, которая имеет дело не с огромным количеством конструктивных элементов электротехнической системы, различающихся по своим характеристикам, принципам действия, конструктивному оформлению и т. д., а со сравнительно небольшим количеством идеальных элементов и их соединений, представляющих эти идеальные элементы на теоретическом уровне. К таким элементам относятся прежде всего емкость, индуктивность, сопротивление, источники тока и напряжения. Поточная схема в теории электрических цепей отображает электромагнитный процесс, протекающий в электротехническом устройстве при его функционировании, а сама цепь представляет собой совокупность элементов и связей, образующих путь для электрического тока, основными параметрами которого являются напряжение, сила, мощность, амплитуда, фаза и частота (для синусоидального тока).

Для применения математического аппарата требуется дальнейшая идеализация: каждый из перечисленных элементов может быть рассмотрен как активный или пассивный двухполюсник, т. е. участок цепи с двумя полюсами, к которым приложена разность потенциалов и через который течет электрический ток. Все элементы электрической цепи должны быть приведены к указанному виду. Причем в зависимости от режима функционирования технической системы одна и та же схема может иметь разный вид. Режим функционирования технической системы определяется прежде всего тем, какой естественный (в данном случае физический) процесс через нее протекает, т. е. какой электрический ток (постоянный или переменный, периодический или непериодический и т. д.) проходит через цепь. В зависимости от этого и элементы цепи на схеме функционирования меняют вид: например, при постоянном токе индуктивность представляется идеальным омическим сопротивлением, при переменном токе низкой частоты – последовательно соединенными идеальными омическим сопротивлением и индуктивностью (индуктивным сопротивлением), а при переменном токе высокой частоты поточная

схема дополняется параллельно присоединяемым идеальным элементом емкости (емкостным сопротивлением). Каждому виду естественного (физического) процесса соответствует наиболее адекватный ему математический аппарат, призванный обеспечить эффективный анализ поточной схемы технической системы в данном режиме ее функционирования. Например, для разных типов функционирования электрической цепи используются различные поточные и функциональные (математические) схемы: для анализа цепей постоянного тока и синусоидального тока – как правило, векторные потенциальные диаграммы, для переходных процессов – операторные схемы, основанные на преобразованиях Лапласа, для расчета цепей, в которых протекают периодические синусоидальные процессы, – ряды Фурье и т. д. Следовательно, для разных режимов функционирования технической системы может быть построено несколько поточных и функциональных схем.

Поточные схемы в общем случае отображают не только физические (электрические, механические, гидравлические и т. д.), но и химические (если речь идет о теоретических основах химической технологии) и вообще любые естественные процессы. Поскольку сегодня активно развивается биотехнология, в сферу технических наук попадают и биологические процессы. В предельно общем случае поточные схемы отображают не только естественные процессы, но и вообще любые потоки субстанции (вещества, энергии, информации). Причем в частном случае эти процессы могут быть редуцированы к стационарным состояниям, но могут рассматриваться и как вырожденный частный случай процесса.

*Структурная схема* технической системы фиксирует те узловые точки, на которые замыкаются потоки (процессы функционирования): единица оборудования, детали или даже целые технические комплексы, представляющие собой конструктивные элементы различного уровня, входящие в данную техническую систему, которые могут различаться принципом действия, техническим исполнением и другими характеристиками. Такие элементы обладают кроме функциональных свойств свойствами второго порядка (в том числе и нежелательными, например усилитель искажает усиливаемый сигнал), т. е. теми, которые привносят с собой в систему определенным образом реализованные элементы. Структурная схема фиксирует конструктивное расположение элементов и связей (т. е. структуру) данной технической системы и предполагает определенный способ ее реализации. Такие схемы, однако, сами уже рассматриваются как результат некоторой идеализации, отображают структуру технической системы, но не являются ни ее скрупулезным описанием в целях воспроизведения, ни ее техническим проектом, в соответствии с которым может быть построена такая система. Это пока теоретический набросок структуры будущей технической системы, который может помочь разработать ее проект, т. е. продуцированный технической теорией исходный пункт для последующей инженерной деятельности, или исходное теоретическое описание, *теоретическая* схема уже существующей технической системы, составленная с целью ее теоретического расчета и поиска возможностей для усовершенствования (или разработки на ее основе новой системы). Кроме того, часто эти схемы строятся на

основе представлений более специализированных научно-технических дисциплин и решают теоретическими средствами возникшие в этих дисциплинах задачи.

Рассмотрим далее пример с теорией электрических цепей. Уже структурные схемы представляют собой идеализированное изображение электрической цепи, поскольку абстрагируются от многих частных характеристик электротехнического устройства (габаритов, веса, способов монтажа и др.). Эти характеристики учитываются в процессе проектирования и изготовления, т. е. в самой инженерной деятельности. На структурных схемах указывают обобщенные конструктивно-технические и технологические параметры стандартизированных конструктивных элементов (резисторов, катушек индуктивности, батарей и др.), необходимые для проведения дальнейших расчетов: их тип и размерность в соответствии с инженерными каталогами, рабочее напряжение, способы наилучшего расположения и соединения, экранировка. Для теории электрических цепей подобные схемы являются исходными. Их заимствуют из других, более специализированных электротехнических дисциплин и подвергают теоретическому анализу. При этом следует отличать структурную теоретическую схему от различных реальных схем, встречающихся в инженерной деятельности, — например, монтажных схем, описывающих конкретную структуру технической системы и служащих руководством для ее сборки на производстве.

Рассмотрим теперь отличие структурных теоретических схем от поточных схем на том же примере теории электрических цепей. Каждому элементу поточной схемы соответствует вполне определенный физический процесс, детальное описание которого выходит за пределы теории электрических цепей, но учитывается в ней. Например, сопротивление как элемент электрической цепи отображает безвозмездные потери электрической энергии в цепи в результате ее перехода в другие виды энергии — тепловую, химическую и др. Представление об электрическом токе как движении зарядов относится к теоретическим объектам другого уровня. В теории электрических цепей электрический ток рассматривается как однородный физический процесс с операционально выделенными параметрами. Они регистрируются соответствующими измерительными приборами: сила тока — амперметром, напряжение — вольтметром и т. д. Наиболее наглядно вид электрического тока высвечивается на экране осциллографа, который сам как измерительный прибор создан на основе теории цепей, а изображение, им воспроизводимое, является реализацией определенной теоретической схемы, т. е., как и любой другой вид измерения, опосредовано соответствующим теоретическим представлением — в данном случае теории электрических цепей. Видом электрического тока соответствуют режимы функционирования цепи, например установившийся и переходный. Преобразование тока и заключается или в количественном преобразовании его параметров (например, силы тока и величины напряжения), или в преобразовании характера его изменения во времени (например, постоянного на переменный или наоборот). В теории электрических цепей этот процесс выражается определенной взаимозависимостью физических параметров элемента цепи и количеством соответствующих единиц измерения (ом, фарад, герц и др.). Элементы электрической цепи образуют ветви, которые соединяются в узлы и контуры при помощи идеальных электрических связей, т. е. связей, не обладающих сопротивлением, индуктивностью и емкостью, хотя реальные проводники ими, конечно, обладают. Наиболее отчетливо различие структурной и поточной схем электротехнического устройства обнаруживается в электромеханических системах и в цепях с распределенными параметрами (коаксиальных кабелях, длинных линиях и др.), которые теоретически представляются как эквивалентные им в заданном режиме функционирования цепи с сосредоточенными параметрами, могущие рассчитываться в теории электрических цепей или теории электромагнитного поля.

В этом случае структурной схеме электрической цепи соответствуют различные поточные схемы. Кроме того, поточная схема может быть представлена в дальнейшем разными функциональными схемами, основанными на соответствующем математическом аппарате (например, потенциальной диаграммой или четырехполосником). В то же время при обратном преобразовании каждой функциональной схеме может соответствовать несколько поточных, а каждой из них, в свою очередь, — несколько структурных схем. Для разного типа характеристик естественного процесса (например, частоты электромагнитных колебаний), т. е. для различных режимов функционирования технической системы, может существовать несколько способов реализации структурной схемы. В этом случае определяющими являются конструктивно-технические и технологические требования: габариты и вес, легкая доступность и сменяемость деталей, характер их расстановки и крепления и т. д. Причем расположение элементов и соединительных проводников диктуется не только конструктивными требованиями, но и особенностями протекания естественного (физического) процесса. Например, могут возникать так называемые паразитные влияния, существенно ухудшающие характеристики функционирования данной технической системы. Таким образом, режим функционирования (ход естественного процесса) определяет конструктивные особенности технической системы и, наоборот, эти особенности существенно влияют на изменение режима функционирования.

Структурные схемы в классических технических науках отображают в технической теории именно конструкцию технической системы и ее технические характеристики. В этом случае они позволяют перейти от естественного модуса рассмотрения технической системы, который фиксируется в его поточной схеме (в частности, физического процесса), к искусственному модусу. Поэтому в частном случае структурная схема в идеализированной форме отображает техническую реализацию физического процесса. В классической технической науке такая реализация, во-первых, является всегда технической и, во-вторых, осуществляется всегда в контексте определенного типа инженерной деятельности и вида производства. В современных человеко-машинных системах такая реализация может быть самой различной, в том числе и нетехнической. В этом случае термины «технические параметры», «конструкция» и другие неприемлемы — речь идет о конфигурации системы, их обобщенной структуре.

Для описания различных слоев технической теории используется и соответствующий *концептуальный аппарат*.

Например, для описания физических процессов электрическая цепь, в которой они протекают, должна быть представлена в естественном модусе в виде поточной схемы как специфический природный объект с помощью физических понятий (электрический ток, напряжение, емкость, сопротивление, проводимость и др.). Однако при создании нового электрического устройства его необходимо описать в искусственном модусе как продукт инженерной деятельности, т. е. в виде определенной структурной схемы. Для этого используются понятия, учитывающие конструктивно-техническое и технологическое оснащение этого устройства (конденсатор, резистор, соединительный проводник и др.). На эквивалентной операторной (т. е. функциональной) схеме того же устройства каждый его элемент описывается определенным уравнением, устанавливающим зависимость между силой тока и напряжением на этом элементе. Та же поточная схема электрической цепи для осуществления математических преобразований (допустим, в случае периодических колебаний протекающего через нее тока) представляется

с помощью так называемого комплексного метода в виде особой функциональной схемы, в которой поточные элементы — индуктивность, емкость, сопротивление и др. — заменяются функциональными элементами — комплексными сопротивлениями, выражающими некоторые алгебраические уравнения, а периодический электрический колебательный процесс — векторной диаграммой. Им соответствуют математические понятия оператора, описывающего действия элементов цепи над этим процессом, аргумента и модуля вектора, адекватных начальной фазе и амплитуде колебаний электрического тока, передаточной функции и т. д.

*Математический аппарат* в технической теории также выполняет несколько функций. Во-первых, он предназначен для инженерных расчетов конструктивных и технологических параметров технических систем, во-вторых — для анализа и синтеза теоретических схем (т. е. дедуктивного преобразования идеальных объектов технической теории), в-третьих — для исследования естественных процессов, происходящих в технической системе (например, для анализа спектра периодических колебаний, свойств импульсов, характеристик переходных процессов и др.). Применение математических методов для преобразования абстрактных объектов обеспечивает саморазвитие технической теории и возможность получения новых знаний без обращения к инженерной практике, причем сами математические методы в процессе их использования претерпевают изменения, как бы приспособляются к решению специфических научно-технических задач.

Таким образом, в технической теории на материале одной и той же технической системы строится несколько оперативных пространств, которым соответствуют различные теоретические схемы. В каждом таком пространстве используются разные абстрактные объекты и средства оперирования с ними, решаются особые задачи. В то же время их четкая адекватность друг другу и структуре реальной технической системы позволяет транспортировать полученные решения с одного уровня на другой и в сферу инженерной деятельности. Механизмы взаимодействия этих оперативных полей могут быть раскрыты в результате методологического анализа функционирования технической теории.

*Функционирование технической теории* осуществляется челночным, итерационным путем. Сначала формулируется инженерная задача создания определенной технической системы. Затем она представляется в виде идеальной конструктивной (т. е. структурной) схемы, которая преобразуется в схему естественного процесса (т. е. поточную схему), отражающую функционирование технической системы. Для расчета и математического моделирования этого процесса строится функциональная схема, отражающая определенные математические соотношения. Инженерная задача переформулируется в научную проблему, а затем в математическую задачу, решаемую дедуктивным путем. Этот процесс называется анализом схем.

Обратный процесс — *синтез* схем — позволяет на базе имеющихся конструктивных элементов (вернее, соответствующих им абстрактных объектов) в соответствии с определенными правилами дедуктивного преобразования синтезировать новую техническую систему (точнее,

ее идеальную модель, теоретическую схему), рассчитать ее основные параметры и имитировать функционирование. Решение, полученное на уровне идеальной модели, последовательно трансформируется на уровень инженерной деятельности, где учитываются второстепенные с точки зрения идеальной модели инженерные параметры, проводятся дополнительные расчеты и делаются поправки к теоретическим результатам. Полученные теоретические расчеты должны быть скорректированы в соответствии с различными инженерными, социальными, экологическими, экономическими и другими требованиями. Это может потребовать введения новых, соответствующих им элементов в состав теоретических схем, которые можно рассматривать как коннотации (дополнительные сопутствующие признаки) этих схем и одновременно как ограничения, накладываемые на эти схемы после их конкретной реализации. Формулировка системы коннотаций и ограничений может привести к необходимости многократного возвращения на предыдущие стадии, составления новых (с учетом коннотаций и ограничений) поточных и функциональных схем, проведения новых эквивалентных преобразований и расчетов.

Таким образом, нижний слой абстрактных объектов в технической теории (структурные схемы) непосредственно связан с эмпирическими (конструктивно-техническими и технологическими) знаниями и ориентирован на использование в инженерном проектировании. В этом состоит конструктивная функция технической теории, ее опережающее развитие по сравнению с инженерной практикой. Этим последним фактом во многом и определяется специфика технической теории, которая имеет практическую направленность: ее абстрактным объектам обязательно должен соответствовать класс гипотетических технических систем, которые еще не созданы. Поэтому в технической теории важен не только анализ, но и синтез теоретических схем технических систем. Обе задачи в принципе являются сходными, поскольку синтез новой технической системы, как правило, связан с анализом уже существующих аналогичных систем.

В практической инженерной деятельности синтез в чистом виде встречается редко: определенные параметры технической системы и ее элементов, как правило, уже заданы в условиях задачи и синтез зачастую сводится лишь к модернизации старой системы. Кроме того, в инженерной практике всегда существуют обычно уже готовые традиционные структурные схемы, полученные эмпирическим путем. Синтез в этом случае сводится к анализу, и требуется определить лишь некоторые неизвестные параметры вновь проектируемой системы. В условиях массового и серийного производства технические системы создаются из стандартных элементов, поэтому и в теории задачей синтеза является связывание типовых идеализированных элементов в соответствии со стандартными правилами преобразования теоретических схем.

В.В. Добровольский и А.А. Артоболевский, которые завершили построение математизированной теории механизмов, в своей работе «Структура и классификация

механизмов»<sup>166</sup> следующим образом рассматривают анализ и синтез механизмов. Анализ механизма начинается с разработки его кинематической (поточной) схемы на основе конструктивной (структурной) схемы. Кинематическая схема позволяет исследовать естественный процесс — движение элементов, пар, цепей и отдельных точек механизма. Для решения этой задачи используются так называемые планы механизма, т. е. его схематические изображения в каком-либо положении, представляющие собой функциональные (математические) схемы. В теории механизмов разработаны также планы скоростей и ускорений механизма и соответствующие им векторные диаграммы. На основе этих планов, в свою очередь, составляются системы уравнений, устанавливающие математические зависимости между перемещениями, скоростями и ускорениями звеньев механизма. С помощью графических и аналитических методов расчета определяются положение каждого звена, перемещение точек и звеньев по заданному закону движения начального звена. Для расчета сложных механизмов осуществляются их эквивалентные преобразования в более простые схемы и лишь затем определяются их звенья, пары и элементы. Синтез механизмов — это их проектирование по заданным условиям. Наиболее распространенным является приближенный синтез, в результате которого определяются размеры механизма, отвечающие заданным условиям в пределах допустимых отклонений. При синтезе механизма может, например, потребоваться воспроизвести закон движения ведомого звена в виде соответствующей кривой (геометрически) или определенного уравнения (аналитически). На основе этой функциональной (математической) схемы строится кинематическая (поточная) схема механизма, на которой определяются количество, характер и связи звеньев. Затем рассчитываются их размеры, профиль и другие конструктивные параметры и составляется структурная схема машины.

Функционирование технической теории направлено на аппроксимацию полученного теоретического описания технической системы, его эквивалентное преобразование в более простую и пригодную для проведения расчетов схему, сведение сложных случаев к более простым и типовым, для которых существует готовое решение. Поэтому главное внимание в технической теории уделено разработке типовых способов решения инженерных задач, стандартных методик проведения инженерных расчетов наиболее простыми средствами. Этим в значительной степени определяется и характер технической теории, доказывающей правомерность такого рода эквивалентных преобразований и аппроксимаций<sup>167</sup>. Сущность метода аппроксимации заключается в компромиссе между точностью и сложностью расчетных схем. Точная аппроксимация обычно приводит к сложным математическим соотношениям и расчетам. Слишком упрощенная эквивалентная схема технической системы снижает точность расчетов.

---

<sup>166</sup> Добровольский В. В., Артоболевский А. А. Структура и классификация механизмов. М.-Л.: Мысль, 1939.

<sup>167</sup> Слово «аппроксимация» в первоначальном значении в математике означает замещение каких-либо математических функций или расчетных схем другими, приближенно выражающими их, эквивалентными им в определенном отношении и более простыми функциями или расчетными схемами, для которых уже существуют или могут быть получены известные решения. В технических науках это понятие получило более широкое толкование как процедура решения инженерных задач на теоретических схемах с помощью ряда их эквивалентных замен и упрощений.

Германский инженер А. Ридлер еще в начале XX в. подчеркивал, что «точное» решение задачи, конечно, является наилучшим, но только если оно соответствует всем практическим условиям данного случая. В этом различие чисто математического доказательства и приближенного вычисления в технике, где запутанные доказательства и пространные вычисления могут только затруднить понимание сути дела и решение задачи. Эту особенность применения математики в инженерном деле отмечал создатель теории корабля академик А.Н. Крылов. Он критиковал тот суеверный страх, вызываемый вычислениями, который прививается в высших учебных заведениях будущим инженерам.

Аппроксимирующие выражения и схемы должны по возможности точно выражать характер аппроксимирующей функции или схемы и в то же время быть как можно проще, чтобы были более простыми и математические решения. Причем для одного режима функционирования технической системы может оказаться предпочтительнее один вид аппроксимации, для другого режима — другой вид.

Например, в радиоэлектронике для анализа сложных схем, определение параметров которых затруднено громоздкими вычислениями, используется теория четырехполюсников. Четырехполюсник — это обобщенная система (абстрактный объект), имеющая два входа и два выхода, к которой приводятся многочисленные конструктивные идеальные блоки: фильтры, контуры, усилители и др. Представление о четырехполюснике вводится для перехода к математическим соотношениям, позволяющим представить уравнения, составленные на основе законов Кирхгофа, которые описывают движение тока в контуре с четырехполюсником, в матричной форме. Решая данные уравнения с помощью теории матриц, можно определить искомые конструктивные параметры четырехполюсников: входное сопротивление, мощность на входе и выходе, вносимое затухание и др. В теории четырехполюсников доказывается ряд теорем (обратимости, об эквивалентном генераторе и т. д.), что позволяет не только упростить расчеты, но и синтезировать новые схемы путем дедуктивного эквивалентного преобразования четырехполюсников. Два четырехполюсника называются эквивалентными, если в электрической цепи они вызывают одинаковое действие, т. е. распределение токов и напряжений во внешней цепи, подключаемой к четырехполюснику, не изменяется при замене одного четырехполюсника другим. При анализе сложных схем их предварительно преобразуют в соединение более простых четырехполюсников, параметры которых берутся из специальных таблиц. Затем по матрицам каждого из них производятся математические операции над ними в зависимости от типа соединения. Такое преобразование позволяет найти наиболее экономичные и эффективные инженерные решения.

Независимо от того, осуществляется ли в технической теории анализ, синтез схем или простой инженерный расчет, можно сформулировать следующий обобщенный алгоритм функционирования технической теории (рис. 60).

1. В начале теоретического решения новой инженерной задачи с помощью конструктивно-технических и технологических знаний формулируются исходные условия этой задачи, инженерные требования и ограничения и возможные аналогии с решенными ранее задачами. Эта процедура может быть названа концептуализацией инженерной задачи.

2. Полученное эмпирическое описание должно быть теоретически сформулировано в стандартных для данной технической теории



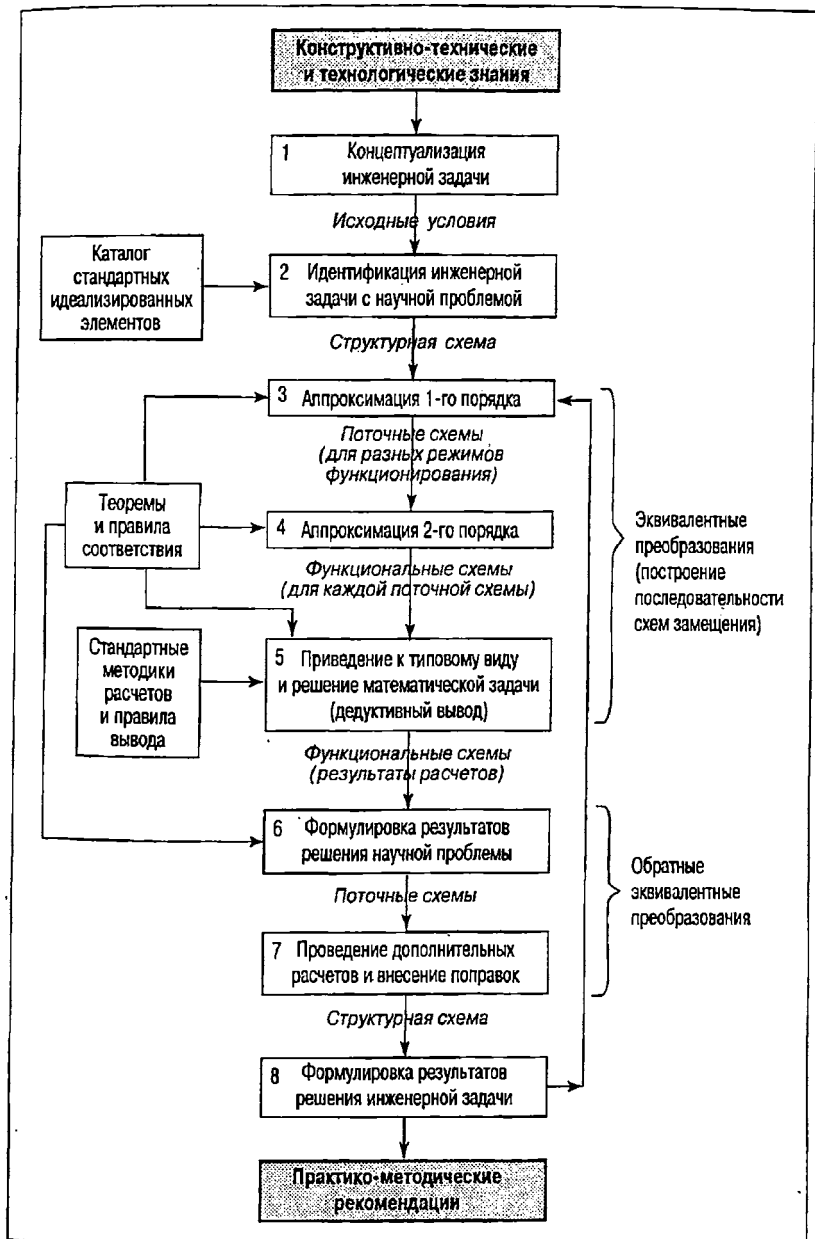


Рис. 60. Обобщенный алгоритм функционирования технической теории

понятиях и представлениях. Данная процедура может быть названа идентификацией инженерной задачи с научной проблемой, т. е. установлением соответствия исследуемой и проектируемой технической системы определенной теоретической схеме данной технической теории. В результате строится структурная схема из идеализированных элементов, взятых из каталога стандартных элементов.

3. Построенная таким образом структурная схема преобразуется методом аппроксимации 1-го порядка в более простую и типовую. При этом выделяются наиболее значимые для данной задачи параметры технической системы. С помощью эквивалентных преобразований (соответствия схем замещения) строятся поточные схемы для разных режимов функционирования технической системы (каких именно — определено в условиях задачи). Если сложная поточная схема не может быть за один или несколько этапов сведена к простейшей типовой схеме, для которой существует выработанное в теории унифицированное решение (если и этого не требуется, решения получают сразу с помощью формул, взятых из таблиц), то она замещается в соответствии с четко сформулированными правилами соответствия эквивалентной ей функциональной схемой.

4. На основе функциональной схемы, построенной с помощью аппроксимации 2-го порядка, составляется система уравнений, которая решается с использованием определенных математических методов (например, матричных). Эти уравнения получаются на основе физических законов (например, законов Ома, Кирхгофа и др.), устанавливающих, например, зависимость между параметрами протекающего в цепи электрического тока и ее элементами. Их конкретные численные значения, известные из условий задачи, позволяют после решения данных уравнений вычислять параметры тока и элементов цепи.

5. С помощью функциональной схемы решается математическая задача, предусматривающая использование стандартной методики расчета и типовых способов решения задач на основе применения ранее доказанных теорем. Для этого функциональная схема в соответствии с особыми правилами преобразования приводится к типовому виду. Так, в теории электрических цепей смешанные соединения преобразуются в более простые последовательные и параллельные, многоконтурные схемы — в одноконтурные и т. п. Для описания такого рода упрощающих преобразований в теории электрических цепей специально доказываются эквивалентность некоторых типовых схем (например, «треугольника» и «звезды») и особые теоремы (например, об эквивалентном источнике тока и напряжения), позволяющие получать более удобные для расчета схемы. Это дает возможность заменять определенные участки цепи другими, эквивалентными и упрощающими схему.

6. Полученный с помощью математических методов результат решения задачи транслируется в процессе обратного эквивалентного преобразования по правилам соответствия на уровень поточных схем. Формулируются результаты решения научной проблемы. Несколько

поточных схем (для разных режимов функционирования) синтезируются затем в структурную схему технической системы.

7. Осуществляются адаптация к конкретному случаю и частичная модификация решения, т. е. проводятся дополнительные расчеты и вносятся конструктивные и технологические поправки. Это необходимо, поскольку и анализ, и синтез схем всегда основываются на компромиссе между сложностью и точностью расчетов, использования приближенных методов и типовых искусственных приемов.

8. Заключительной процедурой функционирования технической теории является формулировка результата решения в виде практико-методических рекомендаций (проектировщику, изобретателю, конструктору и др.).

Таким образом, в технической теории заданы и специально нормированы не только правила соответствия функциональных, поточных и структурных схем, т. е. эквивалентные преобразования их друг в друга, но и правила преобразования абстрактных объектов в рамках каждого вида теоретических схем. Причем структурным схемам, описывающим в идеализированной форме конструкцию технической системы, отведена в технической теории ведущая роль, поскольку именно посредством них теоретически получены результаты решения инженерных задач переводятся в область инженерной практики. В естественной науке эти схемы выполняют вспомогательную роль — обобщенного описания экспериментальных ситуаций — и, как правило, в процессе систематического изложения теории (например, в учебниках) опускаются или приводятся лишь в качестве иллюстративных примеров.

Весьма показательным примером является первый учебник по радиотехнике «Научные основания беспроволочной телеграфии» и курс физики, написанные А.П. Петровским и опубликованные в Санкт-Петербурге в 1913 г. Посвященные, по сути дела, однородным физическим явлениям, эти книги демонстрируют различия технической и физической теорий, проявляющиеся уже в расстановке акцентов при изложении учебного материала. В учебнике по радиотехнике Петровский большое внимание уделяет анализу и развитию различных конструктивных схем радиотехнических устройств (схемы с заземленной сеткой, регенеративной и суперрегенеративного приемников, супергетеродина, рефлексивных схем и т. д.). Наряду с описанием разделов классической электродинамики и элементов электротехники в нем содержится первичная классификация радиотелеграфных станций на основе типов схем и технических характеристик, попытка их обобщенного рассмотрения и разработка специального концептуального аппарата для их описания (структурные схемы). Конкретное же описание радиотелеграфных станций приводится в особых работах, не претендующих на теоретическое рассмотрение. Детальное изложение физической теории также выносится здесь за скобки, поскольку оно должно содержаться в соответствующем курсе физики, что и делает Петровский: в его курсе физики дается традиционное изложение электродинамики безотносительно к радиотехнике, не считая формального упоминания передачи энергии на расстояние. Однако и те разделы электродинамики, которые вошли в учебник по радиотехнике, описаны уже с ориентацией на решение определенных задач. В нем различаются физические параметры электромагнитных волн и соответствующие им характеристики процесса передачи, т. е. искусственно воссозданного в функционировании радиотехнического

устройства электродинамического процесса (поточные схемы). Одновременно формируются функциональные (математические) схемы радиотехники. Во втором издании учебника Петровский в значительной степени использует математический аппарат. Наряду с традиционным для физической науки доказательством теорем он приводит различные расчеты (главным образом с применением графических методов), типовые числовые примеры, искусственные приемы и образцы математического решения инженерных задач. Можно считать, по словам самого автора, что к этому времени радиотелеграфия превратилась в новый отдел науки, изучающий применение электричества и магнетизма на практике.

Таким образом, в классической технической теории и классической физической теории обнаруживается много общего.

Так же, как и в естественной науке, применительно к научно-техническим дисциплинам можно выделить частные и обобщенные схемы. Частные теоретические схемы соответствуют отдельным исследованиям или направлениям или областям исследования, обобщенные — отдельным научно-техническим дисциплинам. Есть в технических науках аналог и специальной научной картины мира<sup>168</sup> — «универсальные» онтологические схемы, которые соответствуют различным «семействам» однородных научно-технических дисциплин, группирующимся вокруг какой-либо одной базовой технической науки. Обобщенная онтологическая схема становится «универсальной» относительно данного класса технических систем. Введение процедуры их теоретического синтеза позволяет проецировать ее на класс потенциально возможных (гипотетических) объектов данного типа.

Основные различия естественнонаучной и технической теорий проявляются прежде всего в особом «видении мира», т. е. универсуме исследуемых в данной теории объектов и способов теоретического представления. В естественной науке это «видение» выражается в составлении научной картины мира, в которой любые реальные объекты рассматриваются как естественные, независимые от человеческой деятельности. В технических науках развиваются иные принципы онтологизации, связанные с жесткой ориентацией на инженерную деятельность. Именно в результате построения «универсальной» онтологической схемы научно-техническая дисциплина может оказывать влияние на развитие соответствующего вида инженерной деятельности — это одно из самых главных требований, предъявляемых к технической теории.

---

<sup>168</sup> Специальная научная картина мира является «универсальной» онтологической схемой, которая выполняет по отношению к некоторому «семейству» научных дисциплин функцию методологического ориентира в выборе теоретических средств, задает обобщенное видение предмета соответствующей науки, часто непосредственно целенаправляя эксперимент и позволяя экстраполировать полученные теоретические результаты на класс будущих экспериментов. В рамках каждой научной дисциплины они конкретизируются в виде онтологических (теоретических) схем, обобщающих целый ряд частных схем, которые развиты в нескольких областях ее исследования.

## Этапы формирования технической теории

Формирование технической теории проходит две основные фазы, в каждой из которых можно выделить три этапа: трансляция исходной теоретической схемы, ее адаптация и модификация.

*I фаза* — разработка *частных теоретических моделей*, сопровождающаяся формированием прикладного исследовательского направления, а затем и области исследования. На первом этапе формирования новой научно-технической области знания по этому типу идеальные объекты и даже целые теоретические схемы *транслируются* из базовой естественнонаучной теории или смежных теоретических областей.

Такую транспортировку исходной теоретической схемы теории механизмов осуществил, например, французский ученый и инженер Гаспар Монж, создатель начертательной геометрии. Первоначально именно в начертательной геометрии он формулирует исходную теоретическую схему теории механизмов и машин. Его ученики и коллеги пытались дать такого рода описание машин с точки зрения начертательной геометрии<sup>169</sup>.

Исходная теоретическая схема, заимствованная из базовой дисциплины, проходит процесс длительной *адаптации* путем подведения под нее определенного эмпирического материала (конструктивно-технических и технологических знаний) и его обобщения. Этот процесс сопровождается перестройкой исходной модели за счет конструктивного введения новых идеальных объектов и схем. В условиях формирования новой технической науки процесс адаптации исходной теоретической модели включает в себя попытки описания существующих технических систем с помощью этой модели и выделения частей данных систем, наиболее явственно представленных в ней, которые и становятся впоследствии самостоятельным объектом исследования и проектирования новой научно-технической дисциплины.

На следующем этапе происходит *модификация* исходной теоретической модели с четким различием двух слоев теоретических схем: поточной, описывающей естественный процесс, и структурной, отображающей его конструктивные элементы и технологические связи. Затем устанавливается эквивалентность этих слоев и соответствующих им способов инженерного расчета. Параллельно детально разрабатываются отдельные частные теоретические схемы, преобразуются заимствованные из базовой естественнонаучной теории схемы экспериментальных ситуаций в структурные схемы конкретных технических устройств, происходят совершенствование и модификация их конструкции. Объект исследования (и проектирования) новой нарождающейся технической теории рассматривается здесь еще лишь как разновидность объекта исследования базовой естественнонаучной теории. Одновременно происходят развитие и конкретизация «уни-

<sup>169</sup> Ашетт составляет также программу курса машин (см.: Lanz M., Betancourt A. *Analytical Essay of the Construction of Machines*. London, 1920).

версальной» онтологической (теоретической) схемы (специальной научной картины мира) базовой естественной науки в виде «поточных» схем формирующейся технической теории, т. е. применительно к новым режимам функционирования инженерной системы данного типа в качестве ее объекта исследования.

*II фаза* — разработка *обобщенной теоретической схемы и математизированной теории*, сопровождающаяся формированием новой научно-технической дисциплины и даже семейства таких дисциплин. Важный этап построения технической теории — разработка гипотетической схемы теоретического объяснения, т. е. обобщенной онтологической (теоретической) схемы, «снимающей» частные теоретические модели, развитые на первых этапах формирования новой теории. На ее основе устанавливаются общие математические зависимости, причем математизация приводит к необходимости модификации первоначальных теоретических схем. Обобщаются различные (уже существующие) теоретические описания и расчеты типовых схем конструкции технической системы данного типа. Происходит постепенное осознание этой системы как особого типа исследования, качественно отличного от других его типов, исследуемых в базовой естественнонаучной теории, а также общности структуры различных инженерных систем данного типа, разработка новых ее блоков и схем, а затем и методов их анализа. Наконец, экспериментальные доказательства универсальности полученной теоретической модели завершают формирование новой теории.

Если в базовой естественнонаучной дисциплине нет раздела, соответствующего этой теории, то он специально строится заново. В научно-технической дисциплине вводятся однородные идеальные объекты, которые должны иметь типовые для всех технических систем данного типа и иерархически организованные элементы с фиксированным набором связей между ними (правил сборки и разборки этих элементов). В теоретической сфере формируется «семиотический конструктор» однородного идеального объекта данной технической теории. Устанавливается также обязательное соответствие идеальных объектов (уровень поточных схем) и конструктивных элементов реальных технических систем (уровень структурных схем), т. е. вводятся процедуры анализа и синтеза теоретических схем. Вокруг каждого идеализированного конструктивного элемента — подсистемы однородного идеального объекта технической теории — группируются частные теоретические схемы, представляющие ее новые исследовательские направления. Постепенно все эти частные схемы синтезируются в обобщенной функциональной схеме, т. е. задаются процедуры их эквивалентного и дедуктивного преобразования и соответствующий математический аппарат. Таким образом устанавливается соответствие структурных, поточных и функциональных схем: фиксированный набор идеализированных блоков однородного объекта исследования технической теории становится адекватным определенным математическим операциям и процедурам.

Одновременно, если инженерная деятельность к этому моменту уже сложилась, возможна ее перестройка в соответствии с теоретической моделью (соответствие конструктивных элементов элементам идеальных объектов), что приводит к необходимости создания математизированной теории.

Заключительным этапом является *создание* на базе «универсальной» онтологической схемы *математизированной теории*. Причем для решения задач математизации может возникнуть необходимость в некоторой модификации обобщающей теоретической схемы за счет построения слоя функциональных схем, ориентированных на отображение математических зависимостей. Задание операции эквивалентного преобразования данных схем (дедуктивный вывод) и позволяет осуществить «проецирование» на целый класс еще не созданных технических систем, т. е. их синтез. Это приводит к формированию на эмпирическом уровне технической теории блока практико-методических знаний (рекомендаций для еще неосуществленной деятельности).

Апробация технической теории производится в инженерной практике. Доказательством жизнеспособности и конструктивности данной теории являются созданные на ее основе новые технические системы. Обобщенная теоретическая схема технической теории становится «универсальной» относительно определенного класса технических систем. В итоге формируется целое семейство однородных научно-технических дисциплин и соответствующих им технических теорий, ориентирующихся на данную «универсальную» онтологическую схему.

Рассмотрим основные этапы формирования научно-технических дисциплин по схеме «Исследовательское направление — область исследования — научная дисциплина» (табл. 1) на примере становления и развития радиолокации как особой научно-технической дисциплины и технической теории (а не отрасли техники). Выбор радиолокации в качестве модели формирования и развития научно-технической дисциплины обусловлен следующими факторами:

- теоретическая радиолокация возникла в условиях функционирования развитой технической науки и действительно развилась в самостоятельную научно-техническую дисциплину, хотя и выделилась из другой (базовой для нее) технической науки (радиотехники), а не из базовой естественной науки;

появление радиолокации вызвало революционные изменения как в сфере инженерной практики и даже промышленности, так и в области технической науки, что в конечном счете привело к ее трансформации в современную комплексную (неклассическую) научно-техническую дисциплину — радиолокационную системотехнику и переходу ее в иной класс — семейство научно-технических дисциплин.

Таблица 1

**Этапы формирования научно-технических дисциплин по схеме  
«Исследовательское направление — область исследования — научная дисциплина»**

<b>Этапы формирования</b>	<b>Научноведческие характеристики</b>	<b>Техниковедческие характеристики</b>	<b>Инженерное образование</b>	<b>Методологические характеристики</b>
1. Предыстория	Отдельные публикации, препринты, отчеты	Совершенствование экспериментального оборудования и схем эксперимента	На производстве, в лабораториях, переход специалистов из смежных областей	Практическое решение нового класса инженерных задач
2. Прикладное исследовательское направление	Формирование массива статей, первые патенты	Изобретательская деятельность и опытное производство; техническая система как разновидность объекта исследования базовой теории; небольшие коллективы исследователей и разработчиков	Кафедры и спецкурсы в вузах	Частные теоретические схемы как результат конкретизации базовой теории
3. Область исследования	Обзоры и рефераты, монография; регулярные конференции и семинары	Серийное производство, техническая система как особый тип объекта исследования и проектирования; формирование профессионального сообщества	Факультет и специальность в вузе; проблемная лаборатория	Частные теоретические схемы как результат обобщения структурных схем технических систем данного типа
4. Научно-техническая дисциплина	Учебники и несколько монографий, выпуск специального журнала; образование новых исследовательских направлений и областей исследования	Массовое производство качественно нового типа технических систем, необходимость стандартизации и унификации	Подготовка специалистов высшей квалификации, формирование сети лабораторий и кафедр	Обобщенная теоретическая схема и математизированная теория, задание процедур анализа и синтеза
5. Семейство дисциплин	Отпочкование от базовой научно-технической дисциплины новых дисциплин	Экспансия в смежные области	Сеть институтов и вузов	Универсальная теоретическая схема — целостная картина области функционирования технических систем данного типа



По общему мнению историков<sup>170</sup>, радиолокация возникла почти одновременно в СССР, США, Великобритании и Германии как ответ на четко определенный социальный заказ на создание новых типов радиотехнических систем — «радаров», или радиолокационных станций (РЛС). Увеличение скоростей военных самолетов и развитие военно-морского флота потребовали и новых способов их обнаружения и навигации. Старая аппаратура — звукоулавливатели и прожекторные системы — для решения новых оперативных задач не годилась. Поэтому перед инженерами и учеными была поставлена конкретная инженерная задача: проверить возможность использования радиоволн для обнаружения различных объектов и разработать соответствующую экспериментальную аппаратуру. Однако для решения этой задачи необходимо было провести ряд научных исследований, поэтому были установлены сложные научные проблемы, в процессе разработки которых и сформировалось новое исследовательское направление в рамках радиотехники.

На этом этапе становления новой дисциплины постепенно формируются новые частные поточные и структурные теоретические схемы радиолокации за счет модификации и конкретизации обобщенных поточных и структурных схем теоретической радиотехники применительно к новым режимам функционирования новых видов радиотехнических устройств. Радиолокационные устройства рассматриваются еще как разновидность радиотехнических устройств, функционирующих в импульсном режиме и на сверхвысоких частотах.

К началу 30-х гг. были известны два основных метода определения дальности с помощью радиоволн — импульсный и фазометрический. Первый метод использовался для зондирования верхних слоев атмосферы — ионосферы (так называемого пятого слоя Хэвисайда). В 1932—1933 гг. он специально изучался для целей радиолокации. Второй метод, называемый иногда интерференционным, или методом «биений», основывался на эффекте Доплера и заключался в измерении разности фаз излучаемой и принимаемой радиоволн. Для реализации поставленной задачи первоначально был выбран второй — фазометрический — метод, хотя в дальнейшем наиболее важное значение в развитии радиолокации приобрел импульсный метод. Это было обусловлено прежде всего тем, что ученые и инженеры, разрабатывающие

<sup>170</sup> Лобанов М. М. Из прошлого радиолокации: краткий очерк. М.: Воениздат, 1969; Очерки развития техники в СССР: Машиностроение. Автоматическое управление машинами и системами машин. Радиотехника, электроника и электросвязь. М., 1970; Радар в США: официальная история. М.: Сов. Радио, 1946; Радар: официальная история. М.: Сов. Радио, 1946; Шембель Б. К. У истоков радиолокации в СССР. М.: Сов. Радио, 1977; Page R. M. The Origin of Radar. N.-Y.: Anchor Books Doubleday and Co, 1962.

первую радиолокационную аппаратуру, ориентировались еще на традиционные радиотехнические представления, старую парадигму данной сферы научного и инженерного знания — новая парадигма еще только начинала формироваться.

Для реализации фазометрического метода, как тогда казалось, не требовалось принципиально новой аппаратуры (генератор дециметровых волн был к тому времени уже разработан) и сложных теоретических исследований. Непрерывное излучение, которое в данном случае использовалось, и соответствующие ему поточные схемы были уже довольно хорошо изучены в радиотехнике. Однако при проведении работ в этом направлении возникло множество технических трудностей, последовательное преодоление которых и привело к развитию принципиально новых инженерных и научных решений, иных поточных схем.

Прежде всего для улучшения работы радиолокационных устройств потребовался переход на все более короткие волны, что, в свою очередь, выдвинуло на первый план развитие еще неосвоенной техники сверхвысоких частот (СВЧ). Поэтому и разработка радиолокационных устройств пошла по пути совершенствования отдельных приборов обнаружения (генераторов, приемников, усилителей, антенных устройств и др.). Для этого было необходимо их изобрести, спроектировать, научно обосновать протекающие в них процессы и изготовить приборы (многокамерные магнетроны, клистроны с дисковыми выводами для дециметровых волн, лампы бегущей волны, волноводы и др.). Переход на сверхвысокие частоты потребовал серьезных научных исследований этого нового режима функционирования радиотехнических устройств и разработки соответствующих ему поточных схем. Причем ученым и инженерам приходилось ставить и решать проблемы, которые в рамках радиотехники или вообще не возникали, или имели второстепенное значение. Одной из таких проблем было подавление внешних и внутренних шумов при приеме отраженной от «цели» (так в радиолокации называется объект обнаружения) волны. Это было связано в первую очередь с главной задачей любой РЛС — необходимостью точного измерения параметров отраженной волны для определения характеристик «целей» — и потребовало огромных усилий и изобретательности от конструкторов: были разработаны специальные схемы и устройства, уменьшающие влияние шумов и помех.

Однако подлинный переворот в традиционном (радиотехническом) представлении радиолокационных устройств вызвало применение импульсного метода. Этот метод выходил за рамки привычных представлений и имел важные преимущества: позволял резко повысить мощность РЛС, давал возможность отслеживать несколько «целей», вести прием и передачу на одну антенну и т. п. И хотя принцип здесь использовался тот же самый — передача электромагнитной энергии на расстояние, — в рамках электродинамической «универсальной» онтологической (теоретической) схемы формировались отличные от

радиотехнических частные поточные теоретические схемы. Значимыми становились другие параметры электромагнитных волн (длительность и скважность импульса, конфигурация его фронта, частота повторения импульсов и др.). Эти новые частные теоретические схемы отражали иную реальность, в связи с чем и требовались другие способы ее представления. В радиотехнике на основе параметров электромагнитных колебаний расшифровывается текст сообщения, в радиолокации на основе параметров импульсов определяются характер и координаты «целей», которые регистрируются зрительно (а не с помощью слуха) на регистрирующих устройствах совершенно нового типа — радиолокационных трубках.

Кроме того, с изменением режима функционирования этого нового типа радиотехнических устройств постепенно изменились и конструктивное оформление РЛС, и соответствующие ему структурные теоретические схемы. Если первоначально они строились и изображались по типу разнесенных радиотехнических приемников и передатчиков, то позднее, при переходе на работу с общей антенной, сформировались иные структурные схемы РЛС. Появились и новые блоки, которых не было в традиционных радиотехнических устройствах: антенный переключатель, синхронизатор и индикаторное устройство. Стали разрабатываться новые импульсные схемы (блокинг-генераторы, мультивибраторы, импульсные усилители, пороговые устройства и др.), а затем и методы их анализа и синтеза. Для новых элементов потребовалась и разработка их графического изображения на структурных схемах.

Формирование нового исследовательского направления — радиолокации — в рамках радиотехники как научно-технической дисциплины сопровождалось выходом в свет многочисленных статей и появлением патентов, описывающих принципы действия, аппаратуру и методы работы РЛС, а также становлением промышленной базы для их изготовления. В 1940–1941 гг. были построены и переданы в эксплуатацию несколько опытных образцов РЛС различного назначения. Стала осуществляться координация деятельности отдельных исследовательских групп. В СССР, например, в 1938 г. была проведена первая научно-техническая конференция по радиобнаружению. В 1940 г. между США и Великобританией было подписано соглашение о взаимном обмене научно-технической информацией и опытом разработки РЛС<sup>171</sup>. Началось серийное производство радиолокационной аппаратуры. С этого времени радиолокация перерастает в отдельную область исследования. На этом этапе ее развития уже были довольно детально разработаны новые поточные и структурные теоретические схемы, которые, однако, оставались лишь частной разновидностью более общих радиотехнических представлений.

---

<sup>171</sup> Радар в США: официальная история. М.: Сов. Радио, 1946.

Второй этап развития радиолокации — формирование новой области исследования в рамках радиотехники. Качественно новый режим функционирования РЛС на сверхвысоких частотах и импульсный режим стимулировали появление новых элементов, блоков и схем. Развитие же импульсной техники и техники СВЧ, в свою очередь, привело к необходимости изучения законов распространения радиоволн дециметрового и сантиметрового диапазона и закономерностей изменения импульсных процессов, разработки методов расчета, анализа и синтеза новых схемных решений. В радиолокации в практической сфере на этом этапе постепенно формируется новый объект исследования и проектирования — РЛС, а в сфере теории возникают иные, чем в радиотехнике, структурные схемы. Параллельно развиваются и обобщаются поточные теоретические схемы радиолокации в рамках электродинамической картины мира и в корреляции их с соответствующими структурными схемами. Функциональные схемы строятся пока лишь как частные, предназначенные для решения отдельных задач.

В процессе формирования новых исследовательских направлений, областей исследования и дисциплин внутри данного семейства дисциплин новые теоретические схемы как бы подстраиваются под старые схемы базовой технической теории при одновременной модификации и развитии этих старых схем. В теоретической радиолокации можно выделить три вида взаимосогласующихся теоретических схем, которые могут быть условно названы электротехническими, радиотехническими и собственно радиолокационными. В радиотехнике получили развитие лишь два первых вида.

*Электротехнические* теоретические схемы используются для исследования физических процессов, протекающих внутри элементов и блоков радиотехнических и радиолокационных устройств. Эти схемы предусматривают расчет параметров и отображение процессов протекания электрических токов в стандартных электротехнических элементах: сопротивлениях, конденсаторах, катушках индуктивности. Конечно, они могут быть лишь условно названы электротехническими. Для описания физических процессов в новых физических элементах (например, в электронных лампах или полупроводниковых приборах) используется электронная теория. Однако для расчета схем, в которые они включены, как правило, применяются традиционные электротехнические эквиваленты (резисторы, емкости и индуктивности). Поскольку же в элементах и схемах радиолокационных устройств (клинтронах, магнетронах, электронно-лучевых трубках, антенных устройствах, импульсных схемах и др.), работающих в новых для радиотехники режимах, протекают иные физические процессы, потребовались модификация старых или разработка новых методов их расчета и способов представления, а также привлечение новых математических

средств. Это стимулировалось, кроме того, необходимостью исследования и разработки способов подавления внутренних шумов элементов радиолокационной аппаратуры (скажем, дробового эффекта в электронных лампах).

В радиолокации были трансформированы и *радиотехнические схемы*, прежде всего за счет расширения диапазона применяемых на практике радиоволн. Изучение законов распространения электромагнитных колебаний сантиметрового и дециметрового диапазонов, стимулированное радиолокацией, позволило выявить новые аспекты электродинамической картины мира, на которой основывается радиотехника. Поскольку же для радиолокации существенным является учет шумов и помех в окружающей среде, то отождествление последней со свободным пространством уже не было адекватным задачам, решаемым в радиолокации. Важно было учитывать влияние этой среды на распространение радиоволн, например явление рефракции (искривление направления радиоволн), дисперсии (зависимость фазовой скорости от частоты), поглощения или рассеяния волн в разных средах и др. Необходимость обнаружения и опознавания «целей» по характеру влияния их на радиоволны стимулировала исследование рассеивающих свойств различных объектов — зеркальное отражение, диффузное рассеяние, резонансное вторичное излучение. Это привело к формированию новых понятий, способов графического представления данных процессов и их математического описания. Развитие импульсного метода радиолокации и импульсной радиотехники также оказало существенное влияние на формирование новых представлений об импульсных процессах (разворачивание исходной радиотехнической схемы) — представлений о их распространении в окружающей среде и о методах формирования, усиления, анализа в импульсных схемах.

Создание *собственно радиолокационной* теоретической схемы было связано с разработкой и систематизацией различных методов обнаружения «целей» и измерения их координат. Поскольку же это предусматривало прежде всего выявление движущихся «целей» на карте местности, многие понятия и представления радиолокации были заимствованы из геодезии, картографии и навигации. К данному виду теоретических схем относятся изображения направленного луча различной формы (например, многолепесткового) и способов его сканирования (слежения за «целью»), основные методы определения местоположения и др. Вводятся специальные понятия поверхности и линии положения, точечной, объемной и распределенной «цели», координат (дальности, азимута и угла места), траектории и радиальной скорости «цели», эффективной площади рассеяния, метки дальности, разрешающей способности РЛС (по дальности и угловым координатам), точности отсчета, сектора и границы обзора, телесного угла луча и др. Основная функция радиолокационной теоретической схемы — идентификация изображения на индикаторе РЛС с реальными объектами на фоне местности, выделение (обнаружение) «целей» и определение (измерение) их параметров. Для этого разрабатываются специальные индикаторные и антенные устройства — прежде всего для получения

определенной формы луча и вида изображения на индикаторе — и различные методы измерения и расчета координат «целей» (методы минимума и максимума, равносигнальный метод и др.). Одна из важнейших задач радиолокации — специальное исследование ошибок измерения, возникающих под влиянием помех, и методов борьбы с ними. Для решения такого рода задач разрабатываются различные типы математических средств и соответствующие им функциональные теоретические схемы.

На этапе развития радиолокации в особую область исследования в рамках радиотехники создаются первые промышленные образцы РЛС, отрабатываются их структурные схемы, обобщаются частные структурные схемы радиолокации. К этому времени ясно осознается общность структуры различных станций: РЛС могут иметь различные конструктивные формы, но все они построены по общему принципу. Одновременно РЛС осознается как особый тип технической системы, качественно отличный от других радиотехнических устройств<sup>172</sup>. Специфика данных систем как объекта исследования радиолокации определяется, во-первых, изменением роли старых и появлением новых блоков и, во-вторых, иным режимом функционирования систем.

В РЛС появились новые блоки, которых раньше не было в радиотехнических системах. Для выполнения основной функции РЛС — обнаружения и измерения координат «целей» оператором — необходимы различные индикаторные устройства (прежде всего электронно-лучевые трубки). С ними связаны разнообразные технические средства и приспособления для обработки отраженного от «цели» импульса или непрерывного электромагнитного колебания, а также специальные схемы, элементы и устройства для подавления помех. Сложность управления и обеспечения слаженной работы всех блоков РЛС потребовала создания особого блока синхронизации.

Один из непреходящих компонентов любого радиоприемника или радиопередатчика — антенна. Однако в радиолокации антенным устройствам придается особенно важное значение. Они становятся весьма сложными и технически изощренными. Для конструирования антенного переключателя (при работе на совмещенную антенну), механических и электромеханических блоков, обеспечивающих движение антенны, отражательных зеркал, излучателей различных типов и т. п. требуется проведение специальных, весьма сложных расчетов, т. е. создание особого блока частных теоретических схем.

Для формирования научно-технических дисциплин большое значение имеет развитие серийного и массового производства данного типа технических систем (применительно к радиолокации — РЛС), что оказывает огромное влияние на развитие структурных схем технической теории, их стандартизацию и унификацию. В рассматриваемый период становления радиолокации как новой области исследования радиотехники начинаются тиражирование РЛС различных типов

---

<sup>172</sup> С 1941 г. получает распространение и сам термин «радиолокация» (см.: Радар: официальная история. М.: Сов. Радио, 1946, с. 16).

и повсеместное их использование. Такого рода тиражирование непосредственно связано с разработкой и совершенствованием технологии изготовления аппаратуры для РЛС, освоением новых технологических приемов, связанных, например, с созданием металлокерамических ламп, повышением качества комплектующих изделий РЛС <sup>173</sup>.

Стремительный рост промышленности, развитие массового производства стимулировали унификацию и стандартизацию аппаратуры и схемных решений, а также технической документации. Это оказало сильное влияние на совершенствование структурных схем теоретической радиолокации, формирование в ней нового однородного идеального объекта, облегчающего теоретический анализ и синтез различных технических систем типовыми методами, — идеальной РЛС <sup>174</sup>.

Становление радиолокации как новой области исследования в рамках радиотехники может быть охарактеризовано также следующим образом. Если на стадии формирования исследовательского направления радиолокацией занимались лишь отдельные исследовательские группы и лаборатории, то в рассматриваемый период происходит стремительный количественный рост числа исследователей и разработчиков РЛС. «Разработки, которые проводились ранее, характеризовались тем, что они осуществлялись разрозненными группами инженеров в различных странах, относительно изолированных друг от друга ...» <sup>175</sup>. С ростом их числа возникает необходимость централизованной координации проводимых ими исследований и разработок <sup>176</sup>. К середине 40-х гг. решается также задача систематической подготовки

---

<sup>173</sup> Во время второй мировой войны появляются первые специализированные радиолокационные заводы: происходит переключение старых радиотехнических заводов на выпуск новой продукции и организация новых заводов и фирм. Однако этот процесс осложняется тем, что довоенная радиопромышленность в основном выпускала радиовещательную радиоаппаратуру, для чего не требовалось больших производительных и людских затрат. С появлением же радиолокации положение меняется: во-первых, возникает необходимость параллельной организации сопутствующих, вспомогательных производств, например крупносерийного производства электровакуумных приборов; во-вторых, требуется более четкая, чем раньше, кооперация научных исследований, промышленного производства и сферы эксплуатации РЛС. «Техника развивалась так быстро, что производственники часто принуждены делать серьезные изменения в структуре станций в процессе производства для того, чтобы поспеть за новыми открытиями и учесть уроки боевых испытаний. Инженеры, проводившие испытание станций, часто находились непосредственно в зоне боев и работали совместно с представителями армий, решали задачи ремонта и обслуживания аппаратуры» (см.: Радар в США: официальная история. М.: Сов. Радио, 1946, с. 17).

<sup>174</sup> Бартон Д. Радиолокационные системы. М.: Сов. Радио, 1967, с. 156.

<sup>175</sup> Радар в США: официальная история. М.: Сов. Радио, 1946, с. 191.

<sup>176</sup> В США в 1940 г. организуется Научно-исследовательский комитет обороны, в задачу которого входит координация исследовательской работы по механизмам и устройствам военного применения (с 1941 г. он переименован в Управление научных исследований и разработок). В этом же году создается Микроволновый комитет для изучения и применения микроволн в радиолокации (см. подробнее: Радар в США: официальная история. М.: Сов. Радио, 1946). В СССР в 1943 г. организован Научно-исследовательский институт по радиолокации. В 1944 г. создается Совет по радиолокации при Государственном комитете обороны, который

кадров для радиолокации, главным образом операторов и технического обслуживающего персонала. Организация подготовки исследователей и разработчиков — это следующий этап развития радиолокации как самостоятельной научно-технической дисциплины.

*Радиолокация как самостоятельная научно-техническая дисциплина, принадлежащая к семейству научно-технических дисциплин, ориентирующихся на электродинамическую картину мира*

К началу 50-х гг. сформировалось целое семейство научно-технических дисциплин, ориентированных на одну «универсальную» онтологическую (теоретическую) схему (электродинамическую картину мира), выделившихся из базовой технической науки (радиотехники) и ориентирующихся на единый образец их построения. Впрочем, теоретическая радиотехника сама сформировалась по образцу базовой естественнонаучной дисциплины — электродинамики. «В начале 50-х годов получил всеобщее признание термин «радиоэлектроника» Радиоэлектроника объединяет комплекс многих отраслей знания, родившихся из радиотехники и электроники. К радиотехнике относят радиосвязь во всех ее видах: радиовещание, телевидение, радионавигацию, инфракрасную сигнализацию, радиоастрономию, радиометеорологию, радиоспектроскопию, радиотелемеханику, промышленную электронику, ЭВМ, электровакуумную технику, полупроводниковую технику и т. д.»<sup>177</sup> Именно в рамках радиоэлектроники и сформировалась радиолокация как новая научно-техническая дисциплина.

Наболее важное достижение данного этапа — развитие слоя обобщенных функциональных схем и специфического математического аппарата — статистической радиолокации. Эти схемы коррелируют с уже разработанными обобщенными поточными и структурными схемами радиолокации. Потребность в создании теории радиолокации, которая устанавливала бы основные закономерности и критерии качества любых РЛС, привела к развитию вероятностного подхода к решению ее задач и разработке на ее основе новых методов обработки и синтеза сигналов. Задача выделения сигнала в шумах является статистической и может быть решена только методами теории вероятностей. Прием сигналов стал рассматриваться как статистическая задача сначала в радиолокации, а затем и в радиотехнике. В теоретической радиолокации были сформулированы статистические критерии

---

в 1947 г. был преобразован в Комитет по радиолокации. Для координации научных работ в этой области при Совете по радиолокации в 1945 г. учреждается Научно-технический совет, а в 1946 г. — информационный центр. С этого времени начинается издаваться специальный журнал, публикуется целый ряд обзоров, выходят первые монографии. Центр проводит регулярные конференции и семинары по радиолокации (см.: Лобанов М.М. Из прошлого радиолокации: краткий очерк. М.: Воениздат, 1961, с. 253–254, 258, 261).

<sup>177</sup> Минц А.Л. Радиотехника, радиофизика, радиоэлектроника // Изв. вузов. Радиофизика, 1974, т. 18, № 5, с. 645–646.



обнаружения, а для описания свойств радиолокационных целей стали использоваться статистические методы <sup>178</sup>.

Таким образом, к этому времени в теоретической радиолокации сформировалось два слоя взаимно скоррелированных теоретических схем — отражающие соответственно электродинамические процессы (поточные схемы) и их статистические модели (структурные схемы). «В первом случае изучаются законы вторичного излучения конкретных излучателей в зависимости от соотношения их размеров и длины волны, поляризации облучающего поля, ориентации относительно радиолокатора, геометрической формы и материала облучаемой поверхности. Во втором случае исследуются статистические характеристики поля вторичного излучения при случайной ориентации одного или совокупности вторичных излучателей с учетом особенностей их движения. Эти характеристики существенно влияют на статистическую оценку предельной дальности изменения координат и параметров движения цели» <sup>179</sup>. Скажем, так называемая рэлеевская цель, с одной стороны, представляет собой объект математической статистики (т. е. определенную функциональную схему, в соответствии с которой дается классификация различных «целей»), адекватный определенному виду вероятностного распределения — распределению Рэлея, а с другой стороны, имеет четкий электродинамический коррелят, находится в четком соответствии с данной поточной схемой. «Физически такую цель можно представить в виде одного большого рефлектора, дополненного другими небольшими объектами, отраженные сигналы от которых взаимодействуют с основным отраженным сигналом, усиливая или ослабляя его. Рэлеевскую цель можно представить как бы состоящую из большого количества отражающих элементов сравнимых размеров» <sup>180</sup>. Точно так же строятся математические модели ошибок и шумов. Скажем, «нормальный шум» используется в качестве основной модели помехи в силу простоты его математического описания.

В рассматриваемый период в теоретической радиолокации были разработаны процедуры анализа и синтеза теоретических схем РЛС. Цель анализа качества работы различных конкретных видов радиолокационных устройств — исследование сложных процессов их функционирования при воздействии на них сигнала, смешанного с шумами и помехами. «Задача синтеза радиолокатора сводится к нахождению оптимальных с точки зрения того или иного применяемого статистического критерия математических операций над принимаемым сигналом и к построению функциональной схемы, выполняющей эти

---

<sup>178</sup> См.: Вопросы статистической теории радиолокации. М.: Сов. Радио, 1963; Вудворт Ф. М. Теория вероятностей и теория информации с применением в радиолокации. М.: Сов. Радио, 1955; Пороговые сигналы. М.: Сов. Радио, 1952; Прием импульсных сигналов в присутствии шумов. М.: Госэнергоиздат, 1960; Теория информации и ее приложения. М.: Физматгиз, 1959; Котельников В. А. Теория потенциальной помехоустойчивости. М.: Госэнергоиздат, 1958; Page R. M. The Origin of Radar. N.-Y.: Anchor Books Doubleday and Co, 1962.

<sup>179</sup> Теоретические основы радиолокации. М.: Сов. Радио, 1970, с. 24.

<sup>180</sup> Бартон Д. Указ. соч., с. 32.

операции»<sup>181</sup>. Например, для характеристики зондирующего сигнала часто используется функция автокорреляции, которая позволяет выбрать его параметры и методы обработки. Методы анализа и синтеза многопараметрических РЛС разрабатываются на основе обобщенной функции неопределенности.

Примененные в радиолокации методы позволили сравнивать РЛС, различающиеся назначением, параметрами и конструктивным оформлением, с единых позиций. С этой целью строится однородный абстрактный объект радиолокации — «идеальная РЛС», применительно к которой формулируются основное уравнение дальности радиолокации и уравнения, определяющие ее рабочие характеристики. Данный этап развития технической теории является очень важным.

Вычисление различных потерь, наблюдаемых в реальных условиях, позволяет использовать основные схемы и формулы, выведенные для идеальной РЛС, для быстрой оценки параметров реальных станций. Операторное описание РЛС дает возможность выделить в них фиксированный набор стандартных блоков (умножитель, интегратор, пороговое устройство, согласованный фильтр, временной селектор и др.), соответствующих определенным математическим операциям. Из этих блоков по определенным, зафиксированным в теории правилам могут быть синтезированы самые разнообразные функциональные и поточные схемы РЛС, которые затем реализуются в виде различных структурных схем реальных РЛС.

Рассматриваемый этап развития радиолокации может быть охарактеризован следующими показателями. Прежде всего в 50-е гг. наблюдается стремительное увеличение количества литературы по радиолокации: выходит в свет целый ряд учебников и монографий, в которых развиваются ее теоретические основы. Налаживается планомерная и систематическая подготовка специалистов (разработчиков и исследователей) в данной области — организованы не только специальные курсы по радиолокации, но и специальные кафедры в технических вузах.

Радиолокация формируется как новая научно-техническая дисциплина, тесно связанная с нуждами и запросами инженерной практики и промышленного производства. На этом этапе происходит расширение сферы применения радиолокации не только в военной технике, но и в радионавигации, радиоастрономии, решении геодезических задач и т. д. В самой же радиолокации все более четко выделяются отдельные области исследования: активная и пассивная локация, анализ радиолокационных сигналов и разработка систем автоматического управления РЛС и др. Кроме того, развитие радиолокации стимулировало появление некоторых смежных научно-технических дисциплин. Например, теория антенн получила новое развитие в связи с возникновением радиолокации. Радиолокация способствовала также быстрому и массовому распространению телевидения.

---

<sup>181</sup> Вопросы статистической теории радиолокации. М.: Сов. Радио, 1963, с. 3.

В результате формируются специфический концептуальный и математический аппарат и обобщенные теоретические (функциональные, поточные и структурные) схемы теоретической радиолокации в рамках общей для радиоэлектроники «универсальной» онтологической (теоретической) схемы — электродинамической картины мира. Такого рода радиолокацию можно назвать «классической» в отличие от радиолокационной системотехники, которая может быть названа «неклассической» и появление которой относится к следующему этапу.

*Радиолокационная системотехника как научно-техническая дисциплина, ориентированная на системно-кибернетическую онтологию (переход в другое семейство научно-технических дисциплин)*

На этом этапе развития радиолокации происходят изменение парадигмы научного и инженерного мышления и развитие неклассической научно-технической дисциплины — радиолокационной системотехники, в которой электродинамическая картина мира замещается системно-кибернетической. Это влечет за собой коренные изменения в самой структуре теоретической радиолокации — ее концептуальном и математическом аппарате, а также функциональных, поточных и структурных теоретических схемах.

В этот период в радиолокации начинают интенсивно использоваться наряду с методами других дисциплин системотехнические методы. «Современная радиолокация использует последние достижения теории информации и кибернетики, вычислительной электроники, антеннофидерной, приемо-передающей и индикаторной техники, системотехники, автоматического управления и регулирования ...»<sup>182</sup>. Радиолокация переходит в новое семейство научно-технических дисциплин, имеющих системную ориентацию, а также обслуживающих системотехнику дисциплин, и в результате сама трансформируется в новое качество, новую дисциплину. По этому поводу академик А.М. Минц писал: «Практическое применение научные перспективы технической уровень радиолокационных систем позволяют считать радиолокационную системотехнику самостоятельной дисциплиной, которая бурно развивается. Радиолокационная системотехника давно превратилась в специальность, охватывающую довольно широкий контингент инженеров и научных работников»<sup>183</sup>.

Переход от классической радиолокации к радиолокационной системотехнике — это прежде всего переход от разработки отдельных РЛС различного назначения к созданию многофункциональных систем. Несколько РЛС, замкнутых на один пункт сбора и обработки информации, составляют радиолокационный узел; несколько таких узлов,

<sup>182</sup> Сколник М. Введение в технику радиолокационных систем. М.: Сов. Радио, 1965, с. 5.

<sup>183</sup> Конторов Д.С., Голубев-Новожилов Ю.С. Введение в радиолокационную системотехнику. М.: Сов. Радио, 1971, с. 6-7.

обменивающихся информацией, образуют радиолокационную систему. Последняя содержит разнесенные по территории группы РЛС, устройства переработки информации и средства передачи данных. «Это нечто большее, нежели простое объединение радиолокационных средств: функциональное взаимодействие средств внутри системы создает гораздо большие технические возможности, по существу новое качество»<sup>184</sup>. Радиолокационная система позволяет решать задачи, которые не под силу отдельным радиолокационным средствам. При их проектировании также возникает целый ряд специфически системных проблем. Любая радиолокационная система является, в свою очередь, подсистемой более крупной системы — системы управления, которая входит в еще более крупную систему, например навигационную.

В силу своей сложности радиолокационные системы являются трудным объектом для математического описания. Поэтому возникает проблема их упрощенного описания (аппроксимации), характерная для любой научно-технической дисциплины. Такое описание может быть затем усложнено посредством последовательного ряда итераций. Математическая формализация позволяет построить единую методику для анализа и синтеза любых радиолокационных систем.

Одна из важнейших проблем системотехники — определение, выбор и обоснование структуры системы. Для этого составляются особые абстрактные структурные схемы, с помощью которых определяется состав подсистем и элементов, осуществляется распределение функций и выявляются взаимосвязи между системой и внешней средой. Причем при абстрактном рассмотрении структуры игнорируются внутренние свойства каждого отдельного элемента. Структуру можно охарактеризовать топологическими свойствами, временем прохождения информации по сети связи, надежностью при нарушении ее целостности. Для радиолокационных систем особенно важны такие топологические свойства, как распределение по территории и направленность сети связей. При абстрактном анализе структур исследуется конфигурация внутренних связей в системе, выделяются основные типовые структуры (линейная, кольцевая, многосвязная) и их комбинации. В радиолокационной системотехнике для математического исследования абстрактных структурных схем используется аппарат теории графов. Изображение радиолокационной системы в виде структурного графа позволяет оптимизировать ее структуру математическими средствами.

Применение в радиолокации концептуального и математического аппарата теории информации и кибернетики позволило перейти к анализу так называемой тонкой структуры сложного сигнала независимо от его конкретного вида. Понятие радиолокационной информации связано с описанием носителя информации (сигнала), т. е. естественного процесса, протекающего в радиолокационной системе, — процесса ее функционирования. Радиоволны при этом рассматриваются

---

<sup>184</sup> Конторов Д. С., Голубев-Новожилов Ю. С. Указ. соч., с. 6.

лишь как один из типов волн произвольной природы наряду с инфракрасными и световыми колебаниями, а также рентгеновским и гамма-излучением или механическими ультразвуковыми колебаниями упругой среды. «Первоначально в радиолокации применялись электромагнитные волны только радиодиапазона. Отсюда и произошло название радиолокации. В настоящее время радиолокация использует широкий диапазон электромагнитных волн, включая инфракрасные и световые колебания (теплорокация и светорокация), а также рентгеновское и гамма-излучение. Методы радиолокации применяются также в звуколокации, основанной на использовании механических ультразвуковых колебаний упругой среды, а не электромагнитных волн»<sup>185</sup>.

Еще одно отличие радиолокационной системотехники от классической радиолокации — формирование в ней слоя абстрактных поточных схем, т. е. алгоритмических схем функционирования. Функционирование радиолокационной системы рассматривается в системотехнике как алгоритм обработки информации. Переход к теоретическому синтезу алгоритмов обработки радиолокационных сигналов стимулировался развитием аналоговой обработки данных с помощью сельсинов, решающих устройств, потенциометров, выполняющих определенные математические операции. В начале 50-х гг. в радиолокации начинают все более активно применяться цифровые вычислительные средства, в результате чего в настоящее время трудно разграничить функции радиолокационных систем и вычислительных устройств.

Общей теоретической основой для синтеза алгоритмов обработки в радиолокационной системотехнике является теория статистических решений. Сначала задается математическая формула — формульно-логическая (т. е. функциональная) схема, затем на ее основе строится логическая схема алгоритма, т. е. последовательность операций над сигналом (абстрактная поточная схема). Последняя далее соотносится с выбранной структурной схемой системы. Методы обработки информации в радиолокационных системах описываются в особой теории анализа и синтеза радиолокационных сигналов<sup>186</sup>.

Перечислим основные особенности радиолокационной системотехники как современной «неклассической» научно-технической дисциплины, отличающие ее от «классической» радиолокации:

*комплексный характер*

радиолокационная системотехника как комплексная научно-техническая дисциплина в отличие от классических технических наук формируется нестандартным путем. В классических научно-технических дисциплинах техническая теория строится под влиянием определенной базовой научной (естественнонаучной или научно-технической) дисциплины и именно из нее первоначально заимствуются теоретические схемы и образцы научной

<sup>185</sup> Теоретические основы радиолокации, с. 5.

<sup>186</sup> *Вакман Д. Е., Седлецкий Р. М.* Вопросы синтеза радиолокационных сигналов. М.: Сов. Радио, 1973.

деятельности. При развитии современных комплексных («неклассических») научно-технических дисциплин такой единственной базовой теории не существует, поскольку они ориентированы на решение комплексных научно-технических задач, требующих участия представителей многих научных дисциплин, группирующихся вокруг единой проблемной области. При проектировании современных радиолокационных комплексов используются электротехника, радиотехника, теория автоматического регулирования, инженерная психология, вычислительная техника и другие дисциплины. «Разработка системы редко бывает делом одного человека. Она связана с большим количеством дисциплин, а один человек не может быть хорошим специалистом в каждой из них»<sup>187</sup>;

*синкретизм представлений*

современные радиолокационные системы представляют собой сложные комплексы, включающие в себя помимо радиотехнических устройств различные типы механических блоков, оптические устройства, системы автоматики и вычислительные устройства, параметрические и парамагнитные усилители (применяемые для снижения уровня шума) и др. Их описание в виде кинематических, электрических схем, структурных схем теории автоматического регулирования и др. не укладывается в «универсальную» онтологическую схему радиотехники — электродинамическую картину мира. Это и стимулировало переход радиолокации к системно-кибернетической онтологии;

*деятельностный характер объекта исследования и проектирования*

синкретизм представлений современных комплексных научно-технических дисциплин, к которым принадлежит радиолокационная системотехника, выдвигает на одно из первых мест проблему синтеза используемых в них разнородных знаний, теоретических представлений и методов. Однако такой синтез предусматривает сложную задачу координации, согласования, управления и организации различных деятельностей, направленных на решение определенной комплексной научно-технической проблемы. Поэтому объектом комплексного исследования и системного проектирования в таких дисциплинах будет уже не традиционная техническая система, а качественно новый «деятельностный» объект. В радиолокации одно из важных мест занимают исследование деятельности специалиста-оператора и проектирование пульта управления радиолокационной системой. Переход к автоматическому сопровождению и автоматической обработке радиолокационной информации вызвал необходимость исследования и проектирования деятельности всей радиолокационной системы, т. е. алгоритма ее функционирования, часть которого может быть реализована оператором. Кроме того,

---

<sup>187</sup> Сколник М. Указ. соч., с. 675.

объектом исследования и проектирования становится не только создаваемая, но и создающая система. Сложный процесс координации разработчиков радиолокационной системы требует четкого описания этапов ее создания (алгоритмов разработки). Это облегчает организацию деятельности больших коллективов разработчиков. Другими словами, объектом исследования и проектирования становится сама инженерная деятельность;

*обращенность ко всем этапам и фазам инженерной деятельности* для «классических» технических наук характерно тесное взаимодействие лишь с инженерным проектированием, которое непосредственно основано на теоретических схемах технической теории и реализует их. В радиолокации важной составной частью и сложным видом инженерной деятельности, требующим высокой научно-технической квалификации, становится организация функционирования и технического обслуживания РЛС. Кроме того, процесс проектирования радиолокационной системы становится эволюционным и не прекращается со сдачей ее в эксплуатацию. Создаются даже «самосовершенствующиеся» системы, которые целенаправленно наращивают свою структуру в зависимости от изменения окружающей среды;

*учет фактора окружающей среды* при разработке радиолокационной системы уже на стадии исследования и проектирования учитываются изменения характера «целей», которые обусловлены многими социальными и экономическими факторами;

*использование средств имитационного компьютерного моделирования*

в современных «неклассических» научно-технических дисциплинах, к которым принадлежит радиолокационная системотехника, важнейшую роль начинают играть проектирование и имитационное моделирование на ЭВМ, позволяющие заранее, как бы в форме идеализированного (компьютерного) эксперимента, проанализировать и рассчитать варианты будущего функционирования сложной технической системы. В радиолокационной системотехнике имитационное компьютерное моделирование используется как в процессе функционирования РЛС, например для имитации «целей», так и в ходе разработки системы, когда строятся модели проектируемых систем<sup>188</sup>. «Качественный скачок в развитии радиолокационных систем произошел в связи с началом широкого применения вычислительной техники ...»<sup>189</sup>. Методологический анализ развития теоретической радиолокации позволяет сделать следующие выводы относительно механизмов развития научно-технических дисциплин. На примере теоретической радиолокации видно, что эволюция научно-технической дисциплины

<sup>188</sup> См.: Моделирование в радиолокации. М.: Сов. Радио, 1979.

<sup>189</sup> Конторов Д. С., Голубев-Новожилов Ю. С. Указ. соч., с. 19.

связана с выделением новых исследовательских направлений и областей исследования в рамках семейства однородных дисциплин. При этом новая научно-техническая дисциплина строится по образцу базовой для данного семейства дисциплин «универсальной» онтологической схемы. Процесс формирования «классической» технической науки происходит по схеме: «исследовательское направление — область исследования — научная дисциплина». Такой способ образования новой научно-технической дисциплины связан с прогрессивным ветвлением базовой научной дисциплины (внутри данного семейства дисциплин), которое приводит к формированию сначала нового исследовательского направления, а затем и области исследования и дисциплины.

«Неклассические» научно-технические дисциплины формируются иным путем — за счет перехода в новое семейство дисциплин, смены ориентации на принципиально иную «универсальную» онтологическую схему, новую (применительно к радиолокации — системную) парадигму, что в конечном счете вызывает коренные изменения в самой структуре этой дисциплины. Такого рода научно-технические дисциплины формируются в результате широкого научного движения (в частности, системного), конкретизации и доработки общих методологических понятий и представлений, а также обобщения на их основе практики применения научных знаний различных теорий в процессе решения определенного класса научно-технических задач.

Можно констатировать следующее:

технические науки тесно связаны с естественными науками как в генетическом аспекте, так и в процессе их функционирования; именно из естественных наук в технические были транслированы первые исходные теоретические положения, способы представления объектов исследования и проектирования и основные понятия, а также заимствованы идеал самой научности, установка на теоретическую организацию научно-технических знаний, построение идеальных моделей, математизацию;

в то же время в технических науках все заимствованные из естествознания элементы претерпели существенную трансформацию, в результате чего и возник новый тип организации теоретического знания:

- технические науки в значительной степени стимулируют развитие естественных наук, в свою очередь оказывая на них обратное воздействие.

Следует, однако, подчеркнуть, что в настоящее время научно-технические дисциплины представляют собой широкий спектр дисциплин — от самых абстрактных до весьма специализированных, которые ориентируются на использование знаний не только естественных, но и общественных наук и включают в себя также различные комплексные «неклассические» научно-технические дисциплины.



### 3. Техника как объект исследования естественных и технических наук

С самого начала становления математического экспериментального естествознания в сферу естественнонаучного исследования попадают не только естественные, природные, но и искусственные, технические объекты — техника. С одной стороны, новое экспериментальное естествознание включило в состав новой науки в качестве одной из важнейших составных частей технически подготавливаемый эксперимент как источник проверки и получения новых знаний о природе. С другой стороны, новая наука, используя технические достижения для развития естествознания, оказала важную теоретическую поддержку бурно развивающейся на основе научных знаний инженерно-технической практике.

Галилей не только создал модель экспериментальной деятельности, но и показал, как строить научное знание, чтобы использовать его в технических целях. Такой подход стал возможен потому, что новая наука Галилея основывалась на технической практике, которая была к этому времени достаточно богатой (а обобщение ее требовалось весьма настоятельно), и ориентировалась на нее. С инженерами и техниками эпохи Возрождения Галилей был связан самым непосредственным образом. Его научная карьера начиналась как карьера техника — Галилей учился во Флоренции у инженера и архитектора Ричи (принадлежащего к школе Тарталья). Восприняв от него интерес к технической практике, Галилей в течение всей своей жизни поддерживал с инженерами постоянные контакты<sup>190</sup>.

Галилей был одним из творцов новой науки, ориентированной на технические нужды. Именно он впервые установил четкие отношения между научными знаниями и объектами практики.

Его фундаментальный труд «Беседы и математические доказательства» начинается с описания знаменитого венецианского арсенала: «Обширное поле для размышления, думается мне, дает пытливым умам постоянная деятельность вашего знаменитого арсенала, синьоры венецианцы, особенно в области, касающейся механики, потому что всякого рода инструменты и машины постоянно применяются здесь большим числом мастеров, из которых многие путем наблюдений над созданиями предшественников и размышления при изготовлении собственных изделий приобрели большие познания и остроту рассуждения ... Я, будучи по природе любознательным, часто ради удовольствия посещаю это место, наблюдая за деятельностью тех, которых по причине их превосходства над остальными мастерами мы называем «первыми», беседы с ними не один раз помогли мне разобраться в причинах явлений не только изумительных, но и казавшихся сперва совершенно невероятными»<sup>191</sup>.

Однако наука Галилея не столько результат соединения рассуждений ученых с методами инженеров и техников-ремесленников,

<sup>190</sup> White L. Pump and Pendulum; Galileo and Technology. In: Galileo Reappraised. Berkeley-Los Angeles: Univ. of Calif. Press, 1966, pp. 96–110.

<sup>191</sup> Галилей Галилео. Избр. труды. В 2 т. М.: Наука, 1964; т. 2, с. 116.

сколько результат глубокой теоретической работы, поскольку главная роль в становлении новой науки принадлежит теоретически спланированному эксперименту, а не простым наблюдениям за природой и опыту инженерной работы. Впрочем, и в самой физической теории, и в физическом эксперименте Галилей использует стилизованные технические аналогии и устройства. Достаточно вспомнить, что в его знаменитом эксперименте с бросанием шарика по наклонной плоскости используется одна из простых машин — «наклонная плоскость».

Социальная необходимость технических инноваций, ощущавшаяся в то время в Италии, стимулировала многих к изобретательству. Не обошла эта страсть и Галилея. В течение многих лет в своей технической мастерской в Падуе он изготавливал научные инструменты и ставил опыты. Падуя принадлежала Венецианской республике, и Галилей поддерживал постоянные контакты с венецианским арсеналом. Галилей подчеркивал практическую направленность своих умозрений. Например, в предисловии к «Рассуждению о телах, плавающих в воде, и о тех, которые в ней движутся» он отмечает, что его труд небесполезен «и для постройки мостов или иных сооружений над водами»<sup>192</sup>. Аналогичные проблемы рассматриваются и в сочинении Архимеда «О плавающих телах». Да и сама работа Галилея навеяна этим сочинением. Однако для Архимеда указание в теоретическом труде на его практическую применимость казалось абсурдным — труд должен быть построен по канонам «чистой» доказательной науки типа евклидовой геометрии. Галилей, однако, не просто следует Архимеду: «Сам Архимед научил меня удовлетворять свой разум только тем, в чем убеждают меня рассуждения, а не только авторитет учителя...»<sup>193</sup>. Он действует в теории иным путем — инженерным, тем, который Архимед использовал на практике, но не допускал в науку. Галилей подчеркивал, что выводы Архимеда он постарается «подтвердить иными методами и иными средствами», т. е. «инженерно организованным опытом», например экспериментами с сосудами из воска с зернышками свинца.

Для своих доказательств он привлекает и критически анализирует и инженерный опыт, например полученный в артиллерии.

Отстаивая свою правоту и критикуя оппонента, Галилей пишет в «Пробирщике»: «Я верю синьору Торторе, что железный шар, покрытый свинцом, на батарее города Корбель не наносил особого урона неприятелю и что железное ядро оказалось испорченным свинцом. Я не верю другой части [утверждения синьора Торторе], относящейся к физике, — о том, что свинец плавится и вследствие этого железный шар утрачивает в полете свою свинцовую оболочку. Думаю, что, получив могучий импульс от пушки, выстрелившей ядром в стену, свинец с той стороны, которая оказалась сжатой между крепостной стеной и внутренним железным шаром, был смят и разорван на куски и что практически то же произошло и с противоположной стороны ядра, сплюсненной о железо, и свинец, разорванный в клочья и деформированный, разлетелся во все стороны. Я утверждаю следующее. Если мы примем во внимание, сколько времени

<sup>192</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 43.

<sup>193</sup> Там же.

проходит, пока ядро, вылетев из жерла пушки, покрывает расстояние, отделяющее его от стены, и что должно произойти за столь короткий промежуток времени, дабы заставить свинец расплавиться, то было бы в высшей степени замечательно, если бы кто-нибудь вздумал настаивать после этого, будто такой эффект, несмотря ни на что, существует. Время полета [пушечного ядра] короче, чем один удар пульса, и за столь короткое время должно произойти трение о воздух, которое воспламенит его и наконец расплавит свинец. Но даже если мы мысленно поместим то же самое свинцовое ядро внутрь раскаленной печи, то и тогда оно не успеет разрушиться даже за двадцать ударов пульса. Кроме того, опыт учит нас, что шарик из воска, если им выстрелить из мушкета, пробивает доску. Это свидетельствует о том, что шарик не успевает разрушиться в воздухе»<sup>194</sup>.

Технические явления в экспериментальном оборудовании играют в естественной науке решающую роль, а большинство физических экспериментов искусственны. Искусственность технических устройств, используемых в естественнонаучном эксперименте, заключается в том, что они являются продуктами человеческой деятельности, а естественность — прежде всего в том, что все искусственные объекты создаются из естественного (природного) материала. «Конечно, технические системы и процессы появляются не сами, а только в результате сознательных человеческих целенаправленных действий». В то же время «реализованная техническая система входит в состав материального мира и именно поэтому может рассматриваться в широком смысле как естественная». Между естественнонаучными экспериментами и техническими процессами нет большой разницы. Естественнонаучные эксперименты являются артефактами, а технические процессы — фактически видоизмененными природными процессами<sup>195</sup>. Опыт современной естественной науки — это аппаратный опыт, а эксперименты состоят из искусственных ситуаций. Осуществление эксперимента — это деятельность по производству технических эффектов и может быть отчасти квалифицирована как инженерная, т. е. как конструирование машин, как попытка создать искусственные процессы и состояния, однако с целью получения новых научных знаний о природе или подтверждения научных законов, а не исследования закономерностей функционирования и создания самих технических устройств. Поэтому, указывая на инженерный характер физического эксперимента, не следует упускать из виду тот факт, что и современная инженерная деятельность в значительной степени видоизменена под влиянием развитого в науке Нового времени мысленного эксперимента. Естественнонаучный эксперимент — это не столько конструирование реальной экспериментальной установки, сколько прежде всего идеализированный эксперимент, оперирование с идеальными объектами и схемами. Например, Галилей, будучи изобретателем и страстным пропагандистом использования техники в научном исследовании; переосмыслил и преобразовал техническое действие в физике. Быстрое

<sup>194</sup> Галилей Галилео. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987, с. 214–216.

<sup>195</sup> Рапп Ф. Техника и естествознание. В кн.: Философия техники в ФРГ. М.: Прогресс, 1989, с. 278–279.

расширение сферы механических искусств «обеспечило новые контролируемые, почти лабораторные ситуации, в которых он мог одним из первых наблюдать естественные явления нелегко различимые в чистом состоянии природы»<sup>196</sup>. Цель физики — изолировать теоретически предсказанное явление, чтобы получить его в чистом виде. Вот почему физические науки можно применять в инженерии, а технические устройства могут быть использованы для экспериментов в физике.

Аналогично и для решения инженерных задач средствами математики технические системы необходимо рассмотреть в виде естественных объектов независимо от человеческой деятельности, т. е. переформулировать инженерную задачу в естественнонаучную проблему. Анализируя в «Механике» простейшие технические системы — простые машины, например винт<sup>197</sup>, — Галилей рассматривает в первую очередь их природу. «Итак, являясь великолепнейшим и полезнейшим изобретением, винт заслуживает того, чтобы мы потрудились над наиболее ясным объяснением его происхождения и природы; а для этого начнем с рассмотрения, которое хотя и покажется, на первый взгляд, несколько далеким от рассматриваемого орудия, тем не менее является его основанием»<sup>198</sup>.

Далее Галилей рассматривает естественные движения тяжелых тел, на некоторое время не принимая в расчет то, что речь идет в сущности об искусственном объекте. «Нет ни малейшего сомнения, — пишет он, — что основное *естественное свойство движения тяжелых тел* состоит в том, что любое тяжелое тело, будучи свободным, стремится двигаться по направлению к центру не только по перпендикулярной линии (к горизонту), но, если иначе невозможно, то и на любой другой, которая, имея небольшой наклон к центру, идет, постепенно опускаясь». Наблюдение за поведением жидких тел, например воды, подтверждает этот тезис: «вода, находящаяся на какой-либо возвышенности, не только падает по перпендикуляру вниз, но и растекается по поверхности Земли вдоль линий, имеющих хотя бы самый незначительный наклон». Затем Галилей экстраполирует результаты наблюдения за течением воды в реках, имеющих даже минимальный уклон, на твердые тела: «То же самое явление, как оно наблюдается у жидких тел, также проявилось бы и у твердых, если бы только их формы и другие случайные и внешние помехи не препятствовали этому». Однако в данном случае мешают случайные и внешние помехи, которые, однако, могут быть устранены искусственным путем: «имей мы очень чистую и отполированную поверхность, такую, скажем, как

---

<sup>196</sup> White L. Указ соч., р. 110.

<sup>197</sup> По оценке Галилея, винт занимает «первое место по замыслу и по полезности» среди всех созданных человеком орудий, поскольку «искусно приспособлен не только для того, чтобы перемещать, но и для того, чтобы удерживать и с огромной силой сжимать». Он «устроен так, что, занимая ничтожнейшее место», совершает действия, «возможные для других орудий только в том случае, если они превращены в большие машины» (см.: Галилей Галилео. Избр. труды. В 2 т. М.: Наука, 1964; т. 2, с. 28).

<sup>198</sup> Галилей Галилео. Избр. труды. В 2 т. М.: Наука, 1964; т. 2, с. 28.

поверхность зеркала или абсолютно круглого и гладкого шара из мрамора, стекла или какого-либо другого подобного им, пригодного для полирования материала, то твердое тело, помещенное на эту поверхность, если только у нас есть небольшой, даже минимальный уклон, пришло бы в движение». То же тело оставалось бы в покое только на такой поверхности, «которая оказалась бы точнейшим образом выравненной и равностоящей от плоскости горизонта. Такой поверхностью могла бы быть, например, поверхность замерзшего озера или пруда, на котором сферическое тело оставалось бы неподвижным, но со склонностью быть приведенным в движение любой малейшей силой». Таким образом, на отполированной плоскости, имеющей даже минимальный уклон, шар самопроизвольно устремляется в сторону уклона. Однако если этот шар обладает сопротивлением, его нельзя сдвинуть с места в сторону наклонной части, не прилагая усилий. Резюмируя, можно сказать, что на тщательно выровненной (искусственным путем) поверхности шар (также искусственно изготовленный из подходящего для этого материала) «оставался бы безразличным и как бы в сомнении между покоем и движением, но малейшей силы может оказаться достаточно, чтобы привести его в движение, и, наоборот, малейшее сопротивление, даже сопротивление воздуха, может удержать его в неподвижном состоянии».

Переходя от описания функционирования технической системы к естественному движению природного объекта, Галилей конструирует идеализированный объект физической теории, а на его основе — экспериментальную ситуацию, созданную искусственным путем. На основе этого исследования Галилей формулирует уже не подлежащую сомнению аксиому: «тяжелые тела, если удалить все внешние и случайные помехи, могут быть перемещаемы в плоскости горизонта любой самой незначительной силой».

Однако, чтобы передвинуть тяжелое тело по наклонной плоскости вверх, потребуются большие усилия, поскольку в этом случае движение направлено в противоположном направлении. Чем больше наклон этой плоскости, тем больше требуется усилий, причем наибольшее сопротивление возникнет при поднятии этого тела вверх по перпендикуляру. Эту мысль Галилей поясняет геометрической схемой (рис. 61).

Очевидно, что для перемещения данного груза в горизонтальном направлении никакой ощутимой силы не требуется. Наконец, Галилей возвращается к винту, утверждая, что он представляет собой «треугольник, обернутый вокруг цилиндра», из чего «становится понятно, как, делая винт с более частыми спиралями, удастся сделать его ловчее, ибо он обращается

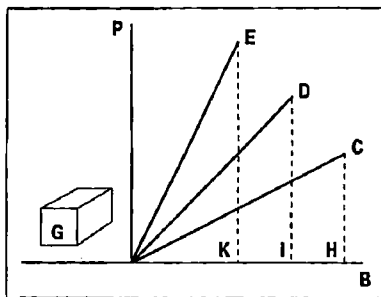


Рис. 61

плоскостью менее наклонной, длина которой в большей пропорции превосходит высоту». В заключение Галилей со свойственной ему как ученому тягой к обобщениям формулирует соображение, необходимое для всех механических орудий: насколько больше их выигрыш в силе, настолько же они проигрывают во времени и в быстроте<sup>199</sup>.

Галилей обращается как инженер-теоретик с естественными объектами и как ученый-практик — с искусственными объектами. «Поэтому Галилей по отношению к наблюдателям природы скорее практик, который разрушает и перестраивает естественный предмет, чтобы в искусственно организованном явлении обнаружить всеобщий принцип, по отношению же к практике — скорее наблюдатель, видящий в техническом процессе не конечную и частную цель, которая в нем достигается, а всеобщий закон, который в нем обнаруживается»<sup>200</sup>. Например, желая понять, почему в проливах течение быстрее, чем на открытых местах, он начинает с наблюдения за функционированием инженерных сооружений — каналов, преследуя при этом не инженерные, а естественнонаучные цели. Галилей стремится «понять причину сильных течений, возникающих в узком проливе», а в конечном счете и доказать вращение Земли. При этом он применяет полученные при наблюдении искусственных сооружений выводы к естественным, природным процессам, мыслит как ученый-естествоиспытатель. Но он не просто разрабатывает более строгие научные понятия, но и конструирует особую идеализированную плоскость рассуждения, идеализированный мысленный эксперимент как проект реального эксперимента, т. е. особое идеализированное представление природных объектов, которое затем может быть практически реализовано в эксперименте при устранении побочных влияний и помех техническими средствами. Таким образом, в естественнонаучной теории и эксперименте Галилей мыслит и действует как инженер, поскольку в экспериментальном естествознании ученый должен не только построить логически удовлетворительную теоретическую схему, объясняющую и предсказывающую ход развития того или иного природного явления и процесса, но и сконструировать практическую экспериментальную ситуацию, воспроизводящую это явление искусственно, в наиболее чистом виде, избавленном от второстепенных черт, и проверяющую достоверность выбранной теоретической схемы. Поэтому среди ученых-естествоиспытателей было так много бывших инженеров<sup>201</sup>.

<sup>199</sup> Галилей Галилео. Указ. соч., с. 28–34.

<sup>200</sup> Ахутин А. В. История принципов физического эксперимента (от античности до XVII в.). М.: Наука, 1976, с. 217.

<sup>201</sup> Можно привести в качестве примера имена ученых, бывших одновременно или первоначально инженерами: Гиббс — химик-теоретик, начал свою карьеру как механик-изобретатель; Дж. фон Нейман, вначале инженер-химик, занимаясь абстрактной математикой, опять вернулся к технике; Н. Винер и К. Шеннон были одновременно и инженерами, и первоклассными математиками; Клод Луис Навье, инженер французского корпуса мостов и дорог, проводил исследования в области математики и теоретической механики; Вильям Томсон (лорд Кельвин) сочетал научную карьеру с инженерными и технологическими инновациями; Вильгельм Бьёркнес, физик-теоретик, стал практическим метеорологом, и др.

Работы Галилея подготовили почву для формирования образцов инженерного мышления и деятельности уже не только в сфере теории, но и на практике, и одним из самых ярких было творчество Христиана Гюйгенса, младшего современника Галилея. Он осуществлял свою (по сути инженерную) деятельность на основе точного расчета и сознательного применения научного знания. Именно у Гюйгенса наиболее четко прослеживается соотношение математической схемы, описания физического процесса качания маятника и конструкции часов. Исходя из технического требования, предъявляемого к функционированию маятника, и знаний механики, Гюйгенс определил конструкцию часов, которая может удовлетворять данному требованию.

Этот сформулированный и продемонстрированный Галилеем и Гюйгенсом путь использования технических знаний в естествознании и применения естественнонаучных знаний в технике является краеугольным камнем современной естественной науки и одновременно условием возникновения технических наук. Наиболее рельефно это выразилось в творчестве известного физика Генриха Герца, эксперименты которого по распространению электромагнитных колебаний не только полностью подтвердили теорию Фарадея — Максвелла, но и явились началом новой технической науки и сферы инженерной практики — радиотехники.

Работы Галилея и Герца содержат много общего, несмотря на различные предметы исследования. И тот и другой заложили методологические основы теоретического осмысления феноменов техники. Однако если Галилей положил начало естественнонаучной теории в современном смысле, т. е. ориентированной на технически спланированный эксперимент, то Герц по праву может считаться создателем технической теории, возникшей как приложение естественнонаучной теории к вновь создаваемой области техники. Геометро-кинематическая схема Галилея, модифицированная значительно позже, в XVIII в., Г. Монжем в проективную геометрию, также послужила началом приложения естественнонаучной теории — теоретической механики — к описанию машин и толчком к созданию теории механизмов и машин. Но в этом случае уже существовала довольно развитая сфера технической практики, потребовавшей к середине XVIII в. ее теоретического осмысления. История становления и развития естествознания и техники связана с постоянным обменом опытом между этими двумя сферами и движением то от техники к естествознанию, то, наоборот, от естествознания к технике. Сама возможность такого взаимного обогащения была заложена в изначальных античных научных программах, прежде всего Архимеда и еще раньше Анаксимандра, который первым использовал техническое объяснение природных процессов на основе геометрических представлений, т. е. соединил (хотя и наивным образом) технику, природный процесс и геометро-кинематическую схему космических явлений.

Таким образом, современное естественнонаучное исследование с начала своего возникновения ориентировано на использование

техники — во-первых, как средства изучения природных явлений (измерительные приборы, технические средства для наблюдения, экспериментальное оборудование), во-вторых, как средства моделирования природных процессов в чистом, т. е. лишенном побочных влияний, и доступном для наблюдения виде, в-третьих, как мыслительной модели природных явлений для их объяснения. В этом смысле современное естественнонаучное исследование всегда опосредовано техникой, и часто трудно определить, исследует ли ученый естественные (природные) или искусственные (технические) процессы. Точнее было бы утверждать, что ученый-естествоиспытатель исследует естественные процессы в идеализированных, искусственно созданных условиях. Это означает, что он фактически имеет дело с технической системой, заменяющей природный объект, а полученные в результате экспериментирования с ней знания переносит на природный объект. Технические приложения — это побочные для него, но очень важные для технического развития общества следствия, полученные в ходе разработки нового экспериментального оборудования, которые в качестве образцов в конечном счете попадают в сферу техники.

С одной стороны, «получить что-нибудь от природы можно, только изучив ее требования», потому что «техника обеими ногами стоит на механике (с физикой) и на химии. Но эта зависимость впервые выяснилась вполне только в XIX веке». С другой стороны, их цели различны. «Науки, как таковые, еще не пригодны прямо для техники. Потребовалась переработка естественных наук в смысле их приспособления к целям техники»<sup>202</sup>. Так возникли технические науки, которые сходны между собой, но все же различны. «Возьмем учение об электричестве и электротехнику. Учение об электричестве имеет целью настолько уяснить явления электричества, настолько связать их и подчинить математическому учету, чтобы можно было их предсказывать и качественно, и количественно. На этом и кончается функция учения об электричестве. Электротехника же ставит себе задачей не только предсказывать электрические явления, но и научить вызывать их в действительности, и вызывать их качественно такими, какими они нам желательны. Тут мы замечаем существенную черту отличия науки как таковой от науки технической: наука как таковая просто изучает факт, без какой бы то ни было оценки его. Наоборот, наука техническая ничего не изучает без оценки по отношению к человеку, к его потребностям, целям и средствам»<sup>203</sup>.

Если теория имеет дело с артефактами, то это влияет на изменение структуры теории. Конечно, «почти все явления, созданные современной экспериментальной наукой искусственно, созданы в лабораториях и являются в этом смысле искусственными». Артефакты же, изучаемые технической наукой, «имеют (непосредственно или

---

<sup>202</sup> *Энгельмейер П.К.* Технический итог XIX века. Вып. 2. М.: Тип. К.А. Казначеева, 1898, с. 82.

<sup>203</sup> *Энгельмейер П.К.* Наука и техника // Народное просвещение, 1919, № 13–14, с. 45.



опосредованно) технологические функции и анализируются с этой точки зрения», т. е. эта технологическая функция должна быть описана и объяснена с позиций проектирования и конструирования. Артефакты же, изучаемые в естественной науке, являются необязательно технологически релевантными или изолированными от технологического контекста». И естественнонаучные, и научно-технические знания являются знаниями о манипуляции природой. Однако между ними существует фундаментальное различие: как показывает анализ конкретной технической теории парового двигателя, в технической теории важнейшее место занимают проектные характеристики и параметры <sup>204</sup>.

Сегодня, когда ускоренное внедрение достижений науки становится одной из важнейших задач, научные исследования не могут проводиться только ради самого исследования. По крайней мере в перспективе они должны быть ориентированы на получение практических, в частности инженерных, результатов. В этом смысле любая современная наука так или иначе связана с практической деятельностью. Однако для технических наук эта связь должна быть безусловно более тесной, а сроки внедрения в инженерную практику результатов проводимых в них исследований, меньшими. Эти науки получают и особое социальное оформление (формы организации и финансирования, требования к продукту и т. д.). Обособляясь в самостоятельную теоретическую дисциплину, техническая наука, тем не менее, никогда не теряет связи с инженерной или проектной деятельностью, обеспечивая инженеров и проектировщиков знаниями, способствующими решению задач инженерного анализа и синтеза, а также построению инженерных моделей и расчетов.

*От технической практики через техническую теорию  
к естественнонаучной теории  
(на примере исследования кинематики механизмов)*

Идея теоретического исследования механизмов и машин с целью их усовершенствования восходит еще ко временам поздней античности. Математик Архимед первым пытался решать технические задачи с помощью математики. И хотя известные нам работы Архимеда посвящены анализу математических проблем, его исследование закона рычага и состояния равновесия заложили основы механики, которая, однако, не принадлежала к естествознанию. Естественные движения и изменения рассматривались в соответствии с учением Аристотеля как предмет исследования физики, не связанной тогда с математикой, механика же изучала простые машины (наклонная плоскость, блок, винт, рычаг, полиспаст) и составленные из них механизмы.

<sup>204</sup> Kroes P. Pambour's Theory of the Steam Engine. In: Technological Development and Science in the Industrial Age. New Perspectives on the Science-Technology Relationship. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992, p. 69-70, 92-93.

с использованием математических методов. Герон Александрийский, будучи в большей степени механиком, нежели математиком, демонстрировал в своих работах скорее практическое применение математических теорем и эмпирических правил для техники повседневной жизни. Астрономия вплоть до Галилея и Ньютона также не была связана с исследованием естественных, физических процессов; поскольку движения небесных тел, относящихся к надлунному миру, были прямым воплощением геометрических фигур и законов. И для Галилея Вселенная — это книга, написанная «на языке математики, и знаки ее — треугольники, круги и другие геометрические фигуры, без которых человек не смог бы понять в ней ни единого слова; без них он был бы обречен блуждать в потемках по лабиринту»<sup>205</sup>. Доказав с помощью сконструированного им телескопа и методов логического рассуждения схожесть надлунных и подлунных тел и процессов, Галилей открыл для математики путь к исследованию естественных, физических процессов. В то же время и Вселенная предстает исследователю в виде созданного Господом огромного механизма, а математика — в виде самого совершенного инструмента для ее описания. Речь идет фактически о небесной механике. Еще одной сферой успешного применения математики к механике становится область создания научных инструментов, и в первую очередь часов для точного измерения времени, которое настоятельно требовалось, например, для уточнения астрономических наблюдений. Таким образом, идея плодотворности и необходимости соединения математики и механики, по крайней мере, с мировоззренческой точки зрения к XVIII в. стала очевидной (иное дело — ее реализация на практике).

Сформировавшаяся в эпоху Возрождения профессия сначала военного, а затем и гражданского инженера стала к началу XVIII в. достаточно престижной при дворах князей и монархов.

О высоком социальном статусе инженера свидетельствуют изображения инженера и руководителя строительства на гравюрах Христофора Вайгеля в 1698 г., где дается краткое описание ремесленных профессий. Инженер и руководитель строительства именно руководят инженерными работами и рабочими, они и одеты иначе, чем ремесленники, и своим видом напоминают скорее людей благородного сословия; хотя они и зарабатывают на хлеб своим трудом и знаниями, но труд этот в большей степени интеллектуальный, а знания — многочисленные научные познания.

Руководитель строительства должен уметь начертить на бумаге эскиз замышляемой им постройки, произвести измерения на местности с помощью различных измерительных приборов, знать учение о перспективе, уметь производить расчеты, разбираться в истории, чтобы выбрать подходящие для постройки статуи и колонны, и в медицине, чтобы установить постройку в «здоровом» месте, а также в правовых вопросах, чтобы исключить тяжбы с соседями.

Работающий в сотрудничестве с ним военный инженер должен иметь познания в геометрии и искусстве землемерия, а также строительной и военной науке, чтобы воспроизвести сначала на бумаге, а затем на местности надежные фортификационные сооружения и сопутствующие им хозяйственные постройки и орудия защиты с достаточным

<sup>205</sup> Галилей Галилео. Пробирных дел мастер. М.: Наука, 1987, с. 41.

количеством боеприпасов, водоснабжением и всем, что необходимо в случае длительной осады. В военное время такой инженер занимается инженерным обеспечением армии: руководит разбивкой лагеря и созданием его укреплений, содержанием и обслуживанием артиллерии, а также подготовкой инженерных сооружений для осады и штурма неприятельских фортификационных сооружений. Деятельность военного инженера сравнивается с ролью Архимеда, конструировавшего различные механизмы, машины и укрепления и сделавшего оборону своего родного города Сиракузы неуязвимой для врага <sup>206</sup>.

Итак, понятие «инженер» означало первоначально лишь «деятельность техников, которые имели или строго военные задачи (артиллерия, строительство крепостей) или такие государственные задачи, как землемерие, строительство дорог и водных сооружений. Постройка машин, особенно водяных и ветряных мельниц, вместе с механизмами для передачи силы и приводимыми ими в движение орудиями вменялась в обязанность строителям мельниц. При этом речь шла об умелых практиках, получивших эмпирические знания главным образом как наследство от отца к сыну и известных под названием «художник-мастер», «мельничный врач» <sup>207</sup> или «механик». К механикам причислялись также люди, которые изготовляли астрономические, математические и физические аппараты и инструменты, для чего должны были обладать определенными математическими и естественнонаучными познаниями» <sup>208</sup>.

Таким инженером-механиком был, например, *Якоб Леопольд* <sup>209</sup>, создавший 10-томный *Teatrum machinarum* («Театр машин») — эмпирическое описание существовавших к тому времени машин с попыткой их систематизации (последние книги вышли уже после его смерти).

---

<sup>206</sup> Weigel Ch. Die Bauleute. München: Verlag Georg D.W. Callwty, 1963, S. 56–62.

<sup>207</sup> В актах г. Франкфурта-на-Майне от 1432 г. упоминается «мельничный врач», который привел в порядок зубчатые колеса, передаточный механизм и другие рабочие части франкфуртской мостовой мельницы (см.: Feldhaus F.V. Geschichte des technischen Zeichnens. Wilhelmshafen: Franz Kuhlmann KG, 1953, S. 19).

<sup>208</sup> Troitzsch U. Jacob Leupold 1674–1727. Mechanikus und Technik-Autor im Zeitalter der Aufklärung. In: Leopold J. Theatri: machinarum supplementum. Hanover: Th. Schäfer GmbH, 1982.

<sup>209</sup> Якоб Леопольд (1674–1727), немецкий механик, родился в Планице, в семье ремесленника. Изучал в Йенском университете теологию и математику, но вынужден был оставить учебу из-за недостатка средств; затем учился в Виттенбергском университете, но также вынужден был его оставить; изучал теологию в Лейпцигском университете, который не закончил, обратившись всецело к механике. Леопольд открывает механическую мастерскую для изготовления научных инструментов и аппаратов, дает частные уроки. За это время он сделал множество изобретений. В 1714 (или 1715 г.) Леопольд открывает в Лейпциге «Механическую лабораторию». В 1720 г. он начал работу над своим фундаментальным трудом *Teatrum machinarum*. В последние годы жизни интенсивно работал в области горного дела, занимаясь государственной инспекцией и усовершенствованием горных машин и механизмов. (Banse G., Wollgast S. Biographien bedeutender Techniker. Berlin: Volk und Wissen Volkseigener Verlag, 1987, S. 69–75).

Леопольд проводит различие между механиком, который знаком лишь с теорией, механиком-практиком, знакомым с машинами и знающим, как их создавать, и механиком-эмпириком, т. е. ремесленником, создающим и эксплуатирующим машины. Себя он относит к механикам-практикам — действительно, Леопольд более всего занимался точной механикой, созданием научных измерительных инструментов. В «Театре машин» он рассказал о всевозможных известных в то время механизмах, машинах, мельницах, элементах машин и орудиях, предназначенных для их изготовления (или им изобретенных, или им улучшенных, или просто ему известных). Некоторые из них представлены в виде рисунков с использованием открытой в эпоху Возрождения параллельной проекции, другие — в виде чисто технических чертежей.

О важности такой описательно-систематизирующей работы, проведенной Леопольдом, свидетельствует тот факт, что для многих изобретателей его своеобразный каталог служил отправной точкой в их инженерной работе.

Изобретатель паровой машины Джеймс Уатт изучил немецкий язык только для того, чтобы ознакомиться с «Театром машин» Я. Леопольда. Следует, однако, отметить, что это сочинение не было единственным в то время. Например, в конце XVI — начале XVII вв. в Венеции была издана книга «Machina Nova» Фаусто Веранцио (1551–1617), в которой приведены не столько описания существующих машин, сколько наброски идей, подобные техническим изобретениям Леонардо да Винчи: возведение арочного моста на бронзовых опорах, железного цепного моста и ветряной мельницы с лопаточным венцом<sup>210</sup>.

Позднее, в 1762–1777 гг., вышла в свет Энциклопедия Дидро, состоящая из 35 томов и содержащая сведения из самых различных областей науки и искусства<sup>211</sup>. Наряду с так называемыми свободными искусствами важное место в Энциклопедии отводилось прикладным или механическим искусствам, включая технику<sup>212</sup>, которые явно демонстрируют не только свою полезность, но и особую «философию»: они «обеспечивают людям то господство над природой, которое восхваляют прекрасные искусства. Господство, которое реализуется через комбинирование практики вместе с опытом и теории вместе с размышлением»<sup>213</sup>. Не рассматривая подробно содержание этой Энциклопедии, отметим лишь, что разделы механических искусств представлены в ней непропорционально: наиболее детализированная информация содержится в разделе «Искусство создания часовых механизмов», остальные разделы представлены весьма поверхностно и бегло. Однако само их наличие в такого рода всеобъемлющей

---

<sup>210</sup> *Veranzio Fausto*. Erfindungen von einst. Mit einer Einführung von Ernst H. Berninger. Dortmund: Harenberg, 1982.

<sup>211</sup> Французский философ Денис Дидро привлек к работе над Энциклопедией известного математика и физика Д'Аламбера.

<sup>212</sup> Дополнение семи свободных искусств семью механическими искусствами восходит еще к средневековью. Хуго из Санкт-Виктора (1096–1141) классифицирует их следующим образом: ткачество (при содействии всех текстильных работ), производство оружия (включая работы по металлу, камню, дереву и строительное ремесло), кораблевождение (и торговля), земледелие (со скотоводством и домохозяйством), охота (и рыбная ловля, а также производство продуктов питания), медицина (и производство лекарств), актерское искусство (с игрой и спортом) (см.: Scriba C. J., Maurer B. Technik und Mathematik. In: Technik und Wissenschaft. Technik und Kultur; Bd. 3. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991, S. 45–46).

<sup>213</sup> *Lewinter Roger*. Diderot und die Enzyklopädie. In: Diderots Enzyklopädie. Die Bildtafeln. 1762–1767. Erster Band. Augsburg: Weltbild Verlag GmbH, 1995, S. XVI.

Энциклопедии свидетельствует об огромном интересе, который вызывали тогда разнообразнейшие машины и механизмы. В 1794 г. на базе коллекции известного механика Вохансона была даже организована Консерватория искусств и ремесел, в технический музей которой были переданы машины, хранившиеся во Французской академии наук, и из других коллекций. «По уставу в Консерватории должны были храниться модели, чертежи и описания всех машин, применяемых во Франции, образцы изделий промышленности и т. д.»<sup>214</sup>.

Таким образом, разработка разнообразнейших машин (подъемных, паровых, прядильных, ткацких, мельниц, часов, станков и др.) к концу XVIII в. становится самой развитой областью инженерной деятельности. Существующие и замышляемые механизмы и машины становятся предметом описания и предварительного исследования, которое основывалось первоначально на теории простых машин. Однако многочисленнейшие машины, построенные к этому времени, не соответствовали такого рода теоретической схеме, основанной на изображении передачи сил. В инженерной практике все более требовалось осуществлять передачу движения с изменением его характера, направления, скорости, что объяснялось особенностями машинного производства, в котором множество станков должно было приводиться в движение одной машиной-двигателем, например паровой машиной. Идеальные объекты теории простых машин не отвечали запросам практики, но для проведения инженерных расчетов, без которых невозможно создание сложных машин, требовалась определенная схематизация проектируемой технической системы — машины. Дебаты уже ведутся не о том, должна ли техника развиваться вместе с математикой или без нее, а о том, какие математические методы и каким образом должны в ней применяться. В то же время практики ревниво относились к попыткам применить математику к решению инженерных задач, да и математика еще не была достаточно специфицирована для такого применения. Гаспар Монж использовал чистую математику для описания конкретных машин, развил особую начертательную геометрию, которая, оставаясь строгой математической наукой, предоставляла возможность такого описания. Эту новую науку «Монж определил следующим образом: «Искусство представлять на листе бумаги, имеющем только два измерения, предметы, имеющие три размера, которые подчинены точному определению. ... Заслуга Монжа в том, что он из разрозненных методов, элементов теории отдельных задач и не всегда конкретных способов изображения создал новую отрасль геометрии»<sup>215</sup>.

Фактически начертательная геометрия снабжала инженеров математически точной системой графических изображений (математической схемой), позволяющей схематизировать пространственные структуры в виде плоскостного изображения, проводить на нем необходимые расчеты с помощью стандартизованных математических

---

<sup>214</sup> Боголюбов А. Н. Гаспар Монж. 1746–1818. М.: Наука, 1978, с. 40.

<sup>215</sup> Там же, с. 11.

преобразований, а затем применять полученные результаты к реальным условиям. Такого рода задачи постоянно возникали и решались в инженерной практике в области архитектурного проектирования, строительства, геодезии и картографии. Монж попытался использовать этот математический инструмент в области проектирования машин и механизмов, дающей инженеру графический метод решения инженерных задач с помощью бесконечного множества преобразований плоских фигур, «способ на основании точного изображения определять формы тел и выводить все закономерности, вытекающие из их формы и их взаимного расположения»<sup>216</sup>.

По предложению Монжа курс построения машин, введенный им впервые в Парижской политехнической школе, должен был составить часть курса начертательной геометрии. Предложенная им программа включала семь разделов: основные принципы, резка камней, резка дерева, тени, перспектива, топография, машины. В последний раздел вошли:

«1. Представление способов, с помощью которых можно преобразовать поступательное движение в движение по окружности и наоборот, движение по окружности в возвратно-поступательное движение и наоборот, обратно-поступательное движение в поступательное движение и наоборот.

2. Представление способов облегчения движений всех видов.

3 и 4. Описание основных машин, приводимых в движение людьми, животными, силами, заимствованными у природы, подобно текущей воде, падающей воде, ветру и водяному пару»<sup>217</sup>.

Машина теперь рассматривалась не с точки зрения равновесия ее частей, а с точки зрения движения частей в соответствии с требованиями инженерной практики. Элементарные составные части машины стали описываться как приспособления, с помощью которых можно получить из движений одного вида движения другого вида. Такого рода идеализированное представление машины необходимо инженеру, создающему проект, во-первых, для проведения расчетов (поскольку оно дает представление об относительном сравнении величин) и, во-вторых, для ее описания в виде последовательности преобразований естественного процесса — движения. Это обеспечивает переход от исходной математической (функциональной) схемы к поточной теоретической схеме машины, позволяющей использовать естественнонаучные знания.

Не случайно, что именно начертательная геометрия явилась первой дисциплиной, с которой связывается «наука о машинах». Чтобы иметь возможность применять знания теоретической механики, необходимо было так схематизировать технические системы (машины), чтобы их части можно было представить в виде идеальных объектов теоретической механики (наклонная плоскость, блок, винт и др.), с которыми были связаны типовые расчеты. Кроме того, чтобы зафиксировать

---

<sup>216</sup> Монж Гаспар. Начертательная геометрия. М.: АН СССР, 1947, с. 13.

<sup>217</sup> Боголюбов А.Н. Указ. соч., с. 49.

знания принципов действия и конструкций машин, также необходимо было их изобразить схематически. Наконец, математические средства решения инженерных задач довольно давно использовались при создании машин, в значительной степени были разработаны в прикладной математике, прежде всего в работах Эйлера, Даламбера, Лагранжа, Фурье, Крано. Однако для применения графических и аналитических методов расчета необходимо было сначала особым образом изобразить, схематизировать техническую систему (в данном случае машину). Начертательная геометрия, окончательно сформировавшаяся как самостоятельная математическая дисциплина в трудах Монжа, как раз и описывала геометрические средства и законы такой схематизации, например метод проецирования объекта на координатные оси. Начертательная геометрия знакомит с результатами стереометрии, а также сообщает детальные познания об объектах, необходимых почти для всех искусств; частным применением ее является действенное описание форм и конструкций элементарных частей машин<sup>218</sup>. Начертательная геометрия Монжа задала способ, принцип рассмотрения технических систем (машин), который дал возможность представить эти системы на теоретическом уровне. В этом случае даже самые сложные машины являются лишь результатом комбинирования простейших способов преобразования движения, и нужно лишь позаботиться о том, чтобы их перечисление было достаточно полным.

Жан Никола Пьер Ашетт, один из учеников Монжа, читавший вместе с ним курс начертательной геометрии в Парижской политехнической школе, получил в 1806 г. официальное предложение подготовить курс построения машин. Программа курса содержала следующие пункты:

«1. Действие двигателя, приводящего машину в движение, прилагается в точке, которая вследствие этого описывает круг или прямую линию. В результате получается вращательное или поступательное движение.

2. Движущаяся точка, пробежавшая некоторый отрезок пути по окружности или по прямой, может быть принуждена движущей силой вернуться в исходное положение, двигаясь в обратном направлении по той же линии; так получаются круговое и прямолинейное возвратные движения.

3. Обозначая  $R$  — прямолинейное непрерывное движение,  $r$  — прямолинейное возвратное движение,  $C$  — круговое непрерывное движение,  $c$  — круговое возвратное движение (качание), получаем десять комбинаций из четырех букв: соответственно которым рассматривается десять элементарных преобразований движений».

В програму вошли также сведения об «элементарных машинах, о круговом движении, о движении прямолинейном, о движении возвратном; о формах машин, при помощи которых эти движения комбинируются по два; распределение этих машин на десять серий;

---

<sup>218</sup> Клейн Ф. Лекции по истории математики. М.-Л.: ОНТИ, 1937.

объяснение таблицы, в которой все известные машины распределены на десять серий»<sup>219</sup>.

После этого начинается процесс адаптации исходной теоретической модели Монжа путем наложения ее на эмпирический материал, содержащийся, например, в «Театре машин» Леопольда и других справочных изданиях. В этом смысле является показательной книга И. Ланца и А. Бетанкура «Курс построения машин»<sup>220</sup> — одна из первых попыток систематизации и объяснения всех основных машин того времени. В отличие от Ашетта авторы этой книги представили более обширную таблицу элементарных машин. Ашетт предусматривал лишь 10 типов преобразований движения при помощи элементарных машин — у Ланца и Бетанкура их уже 21. В предисловии к английскому изданию их книги говорится, что она дает массу важной практической информации и может рассматриваться как грамматика науки о машинах. Незаполненные клетки в их таблице были резервированы для будущих открытий и изобретений. Однако для Ланца и Бетанкура еще характерна неоднородность изображения машин: в одних случаях (в основном применительно к наиболее теоретически разработанным областям, например теории зубчатых колес) изображение является последовательной реализацией исходного теоретического принципа и представляет собой довольно абстрактную схему, позволяющую решать инженерные задачи с применением средств прикладной математики и теоретической механики, в других случаях это только рисунки и объемные эскизы соответствующих машин, не подвергнутые теоретической обработке. Кроме того, в книге Ланца и Бетанкура почти полностью отсутствовали расчеты — для них требовалось более обобщенное описание машин.

Чтобы дать такое описание, необходимо было сопоставить друг с другом машины данного класса. Это возможно, если вычленив элементы, общие для всех существующих машин с точки зрения принятой теоретической схемы, что пока не удавалось: во-первых, требовалась модификация исходной схемы, во-вторых, первоначальное деление машин на элементы еще было тесно связано со стихийно сложившимися в инженерной практике различиями и изображениями машин. Это выполнили другие последователи Монжа, которые стремились в своих работах адаптировать выбранную им исходную теоретическую модель к обширному новому эмпирическому материалу, накопленному к этому времени в практике создания машин. В результате такой работы удалось выделить объект исследования будущей теории механизмов — передаточный механизм как часть любой машины, которую можно подстроить под данную схему.

Одна из первых попыток дать теоретическое описание машины содержится в работе Ж. Борни «Полный курс механики в приложении

---

<sup>219</sup> Боголюбов А. Н. Указ. соч., с. 140–141

<sup>220</sup> Lanz I., *Bethankourt A. Essai sur la Composition des Machines*. Paris, 1819 (см. также перевод этой книги на английский язык: Lanz M., Betancourt A. *Analytical Essay of the Construction of Machines*. London, 1920).



к технике»<sup>221</sup>. Отправным пунктом для Борни служит разделение любой машины на шесть частей в соответствии с их назначением: приемник, передача, модификатор, основание, регулятор, оператор (рабочий орган). Выделение именно этих конструктивных элементов обусловлено различием методов, применяемых для их инженерных расчетов. Однако в книге Борни есть неясности — непонятна, например, разница между модификатором и трансмиссией (передачей).

Ж. Кристиан, исследуя в «Курсе индустриальной механики»<sup>222</sup> сущность механической операции, отмечает, что первая группа элементов, составляющих машину, применяется исключительно для восприятия движения, полученного от двигателя; вторая группа элементов специально предназначена для переноса движения в различных направлениях и для самых различных преобразований этого движения; третья группа элементов машины необходима для выполнения действий над материалом (механической обработки). Таким образом, Кристиан четко выделяет три части любой машины: двигатель, передаточный механизм и орудие<sup>223</sup>. Значительное место в книге занимает специальное рассмотрение передаточных механизмов, на необходимость отдельного исследования которых указывает автор. Акцентирование внимания на передаточном звене было обусловлено тем, что на него в то время приходилась основная доля инженерной работы, а остальные части машины, например двигатели, были еще не развиты и изготовлялись на уровне ремесла или использовались готовыми, как живые двигатели. Однако прежде всего оно явилось следствием наложения на эмпирический материал и адаптации к нему исходной

---

<sup>221</sup> Willis R. The Principles of Mechanism. London, 1870, p. 1.

<sup>222</sup> См.: Флаша С. Основания промышленной механики. М.: Русский книжник, 1843.

<sup>223</sup> Карл Маркс в первом томе «Капитала» дает аналогичное определение машины: «Всякое развитое машинное устройство состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец машины-орудия, или рабочей машины. Машина-двигатель действует как движущая сила всего механизма. Машина-орудие захватывает предмет труда и целесообразно изменяет его», совершает своими орудиями «те самые операции, которые раньше совершал рабочий подобными же орудиями». Передаточный механизм, «состоящий из маховых колес, подвижных валов, шестерен, эксцентриков, стержней, передаточных лент, ремней, промежуточных приспособлений и принадлежностей самого различного рода, регулирует движение, изменяет, если это необходимо, его форму, например превращает из перпендикулярного в круговое, распределяет его и переносит на рабочие машины». Орудия «производятся по большей части все еще ремесленным или мануфактурным способом и затем укрепляются на теле рабочей машины, произведенной машинным способом» (Полн. собр. соч., т. 23, с. 348, 384, 385). Он подчеркивает, что механическая фабрика «представляет собой огромный автомат, систему взаимосвязанных производительных механизмов, получающих свою двигательную силу от одного центрального двигателя, который сам приводит себя в движение» (там же, т. 47, с. 504–521). Именно в это время «стали думать о применении науки — механики, уже вполне сложившейся в XVIII веке» (там же, т. 4, с. 157). Таким образом, «в качестве машины средство труда приобретает такую материальную форму, которая обуславливает замену человеческой силы силами природы и эмпирических рутинных приемов сознательным применением естествознания» (там же, т. 23, с. 397).

теоретической схемы Г. Монжа. Передаточный механизм — это именно та часть любой машины, которая может быть подведена под данную схему. Иначе говоря, Кристиану удалось выделить объект исследования формирующей теории механизмов. Предметом же ее исследования является кинематика механизмов — характер движения их частей.

Английский ученый Роберт Виллис, автор книги «Принципы механизма», продвинулся еще на один шаг вперед, введя различие «конструктивного» и «чистого» механизмов, последний из которых представляет собой теоретическую схему механизма, необходимую для проведения кинематических расчетов. Кроме того, он уточняет само понятие машины и более четко разделяет ее на части: «Всякая машина конструируется с целью выполнения определенных механических операций, каждая из которых предполагает существование движущей силы и объекта, подлежащего операции ... Машины фактически расположены между силой и работой для того, чтобы приспособить одну к другой ...»<sup>224</sup>. Вслед за Кристианом он выделяет три части машины: приемник, передаточный механизм и орудие. Принципы, на которых основана конструкция этих частей, различны. Приемники рассматриваются с точки зрения источника силы, рабочие части — с позиций выполняемой работы. Механизм же, по Виллису, необходимо исследовать без ссылки на силу и работу. Один и тот же приемник может сочетаться с различными частями, и наоборот. Точно так же и механизм, расположенный между приемником силы и множеством рабочих частей, может быть изменен многими способами. Он, по мнению Виллиса, должен быть рассмотрен как самостоятельный объект исследования и проектирования. Виллис предлагает исследовать механизмы исходя исключительно из геометрических принципов, без рассмотрения сил. Тем самым подводится итог процессу адаптации исходной теоретической модели Монжа: в сфере инженерной практики выделяются те части машины, которые могут быть наиболее эффективно описаны с ее помощью. Виллис вводит также представление о жестких звеньях и строит классификацию простых механизмов исходя из принципа отношения скоростей и отношения направлений. Кинематическая задача сложных механизмов — сложение направлений и скоростей — осуществляется посредством комбинации простых механизмов.

На данном этапе формирования технической теории проблема состоит в том, чтобы дать функциональное описание всех существующих технических систем данного типа — машин. Это позволит текстуально закрепить принципы их действия. Поскольку к этому времени насчитывается довольно много созданных инженерных систем данного типа, такое описание должно быть достаточно общим. Простое перечисление заменяется полутеоретической классификацией. В своей классификации Виллис пытается задать поле механизмов, т. е. описать каждый конструктивный механизм указанным выше способом — как «чистый» механизм. Он выделяет три класса и пять групп простых

---

<sup>224</sup> Willis R. Principles of Mechanism. London, 1870, p. 1.

механизмов. Рассматривая механизм как систему жестких звеньев, он выделяет ведущее и ведомое звенья, которые описывает на основе принципа отношения скоростей и отношения направлений.

*Класс А.* Отношение скоростей ведущего и ведомого звеньев сохраняет постоянные величину и знак для всего времени движения механизма.

*Класс В.* Отношение скоростей переменное по величине, но постоянно по знаку.

*Класс С.* Отношение скоростей постоянно по величине, но отношение направлений переменное.

Типам механических связей между этими звеньями, т. е. способу передачи движения, соответствуют следующие группы механизмов: механизмы соприкосновения качением, соприкосновения скольжением, гибкой передачи, шарнирные механизмы и механизмы с передачей движения при помощи сдвигания звеньев. Кроме того, описываются сложные механизмы, общая задача которых — сложение направлений и сложение скоростей посредством комбинации простых механизмов. Описание и схематизация всех этих механизмов дается с четких теоретических позиций. Виллис последовательно раскрывает исходные теоретические представления при помощи таких понятий, как покой, движение тела; траектория точки, направление, скорость (геометрически истолкованная), оборот, период, цикл, фаза, попеременное движение, круговое вращение и др. Однако Виллис не задает еще единого теоретического поля, в котором можно было бы не только описывать существующие механизмы, но и строить новые. Это вызвано тем, что такая классификация не дает возможности применить к исследованию механизмов какие-либо общие методы. На данном этапе это было в принципе невозможно, так как для этого необходимо более расчлененное представление идеального, абстрактного объекта технической теории. Невозможно было свести все многообразие сложных механизмов к совокупности ведомого и ведущего звеньев. Данная Виллисом классификация оказалась неполной даже для многих существующих механизмов.

Однако уже на этом этапе должно быть выдвинуто требование к формирующейся технической науке — давать практические результаты. Это означает, что здесь осуществляется не только схематическое описание существующих технических систем, но и собственно теоретическое исследование — разработка методов расчетов, выдвигание теорем, проведение доказательств и развитие частных теоретических схем. Однако теоретическое исследование еще не принимает на этом этапе единой, всеобщей для данной дисциплины формы — это отдельные, почти не связанные друг с другом исследования. Еще будучи преподавателем Кембриджского университета, Виллис упрекает Монжа в том, что предлагаемая им система годится только для перечисления и описания элементов машин, но не предназначена для расчета этих элементов, кинематика же, по его мнению, должна быть не описательной, а расчетной наукой. Виллис специально разрабатывает отдельные части кинематики. Он не только строит методики расчетов,

но и специально доказывает теоремы, например теорему, связывающую характеристику профилей зацепляющих поверхностей с законами изменения угловых скоростей. Детально разработанная им теоретическая и применимая практически теория зацеплений может быть рассмотрена как частная теоретическая схема теории механизмов.

Создать обобщенную теоретическую схему этой развивающейся технической науки, которая позволила бы не только объяснять принцип действия существующих, но и облегчить создание новых механизмов, сделал своей целью немецкий инженер Франц Рело. Для этого он использовал достаточно развитую к этому времени графическую статику, опирающуюся на методы проективной геометрии («геометрии положения»). Однако, если последняя имела дело с математическими идеальными объектами (прямая, плоскость и т. д.), то в графической статике с помощью геометрических методов решались физические и инженерные задачи. Мосты, строения и другие инженерные объекты представлялись в ней в виде геометрических фигур, например многоугольника сил. Теоремы графической статики дают значительное число графических построений, с помощью которых очень просто решить многие вопросы механики, зачастую гораздо проще, чем с помощью аналитических методов, поскольку построение нескольких линий в ней заменяет целый ряд длинных вычислений. Заимствовав обобщенную теоретическую схему из этой смежной области, Рело приспособил ее к новому эмпирическому материалу, развивая одновременно исходную теоретическую модель Монжа. Рело строит особую «кинематическую» геометрию и на основе выбранной им геометро-кинематической схемы проводит более детальное, чем его предшественники, разделение механизма как однородного абстрактного объекта технической теории на части, которое приобретает характер иерархического описания механизма.

В своей книге «Теоретическая кинематика», опубликованной в 1975 г., Рело развивает представление о кинематической паре. Составляющие ее тела он называет элементами пары. С помощью двух таких элементов можно осуществить различные движения. Несколько кинематических пар образуют кинематическое звено, несколько звеньев — кинематическую цепь. Механизм является замкнутой кинематической цепью принужденного движения, одно из звеньев которой закреплено. Поэтому из одной цепи можно получить столько механизмов, сколько она имеет звеньев. Такое строение абстрактных объектов является специфичным и обязательным для технической теории, делая их однородными в том смысле, что они сконструированы с помощью, во-первых, фиксированного набора элементов и, во-вторых, ограниченного и заданного набора операций их сборки. Любые механизмы могут быть представлены как состоящие из иерархически организованных цепей, звеньев, пар и элементов. Это обеспечивает, с одной стороны, соответствие абстрактных объектов конструктивным элементам реальных технических систем, а с другой, создает возможность их дедуктивного преобразования на теоретическом уровне. Поскольку же все механизмы оказываются собранными из одного и того же набора типовых элементов, то остается задать лишь определенные процедуры их сборки и разборки из идеальных цепей, звеньев и пар элементов.

Ф. Рело следующим образом формулирует задачи анализа и синтеза кинематических схем в теории механизмов и машин. *Кинематический анализ* подразумевает

разложение существующих машин на составляющие их механизмы, цепи, звенья и пары элементов, т. е. определение кинематического состава данной машины. Конечным результатом такого анализа является определение кинематических пар элементов (предел членения). *Кинематический синтез* подразумевает подбор кинематических пар, звеньев, цепей и механизмов, из которых нужно составить машину, производящую требуемое движение.

Однако, несмотря на явные достижения, Рело и его последователи так и не смогли завершить работу, намеченную Виллисом, — создать теорию механизмов. Рело не только не сумел разработать единые теоретические средства для решения инженерных задач, но и совершенно проигнорировал расчетную часть прикладной кинематики, уже в значительной степени разработанную Виллисом и французской школой. Предложенный им формальный аппарат для обозначения состава механизмов оказался громоздким и не дал практических результатов. «Теоретичность» кинематической школы Рело обусловила более жесткую ориентацию на инженерную практику. В то же время работа Рело вызвала широкую дискуссию, в результате которой, с одной стороны, было констатировано, что разработать расчетную математизированную теорию ему не удалось, а с другой стороны, еще более отчетливо была сформулирована необходимость создания единой теории механизмов с применением математических средств. И хотя Рело не использовал математику, развиваемые им представления (подобно силовым магнитным линиям Фарадея) были весьма «геометричны». Поэтому именно обобщенная онтологическая схема, развитая Рело, и послужила исходным пунктом создания математизированной теории.

В это время формируется представление о разграничении двух различных дисциплин, относящихся к механике, — теоретической и технической механики. «Теоретическая механика концентрируется на том, чтобы строго и систематически описывать с помощью математических средств естественные процессы. Приложения, если таковые предлагаются, ей лишь поддерживаются. Техническая же механика, напротив, всегда отталкивается от практических, технических проблем и пытается решать их любыми средствами ...»<sup>225</sup>. В то же время прикладная, или техническая, механика, как отмечает Ф. Рело, рассматривает машинную систему как любой природный объект с целью исследовать причинную зависимость явлений в этой системе, имея методическую направленность, т. е. вырабатывая методы исследования движения различных систем, которые могут быть затем использованы в практике машиностроения. Собственно говоря, и раньше механика теоретическая отделялась от механики практической. Еще Ньютон различал в предисловии к «Началам» механику «рациональную (умозрительную), развиваемую точными доказательствами», и практическую, в которой «относятся все ремесла и производства, именуемые

---

<sup>225</sup> Scriba C.J., Maurer B. Technik und Mathematik. In: Technik und Wissenschaft. Technik und Kultur, Bd. 2 S. 56.

механическими, от которых получила наименование и сама механика»<sup>226</sup>.

Однако в XIX в. это разделение получило несколько иное звучание, поскольку рациональная, теоретическая механика стала игнорировать самые простые и обыкновенные приложения, а теоретические выводы слишком не соответствовали технической реальности. Это было в первую очередь связано с тем, что инженерная практика быстро продвигалась вперед и требовалось теоретическое осмысление связанных с ней задач. Важно было приблизить теорию к практике, изменив сам характер теоретических идеализаций и схем. Например, в рациональной механике рассматриваются совершенно упругие и совершенно твердые тела, но ни те ни другие не существуют в природе, и тем более в искусственных сооружениях — машинах. Техническая механика должна была восполнить образовавшийся пробел и соединить глубокие теоретические сведения с обширной практикой.

Под кинематикой, уже в классификации наук Ампера, понимается наука, «в которой рассматривается движение само по себе»<sup>227</sup>

Ампер в своем «Опыте философии наук», изданном в 1834 г., четко разделил предметы исследования кинематики, статики и динамики, которые являются частями механики как физико-математической науки. Кинематика «должна содержать все, что относится к различным видам движения, независимо от сил, производящих последние. Она, во-первых, должна заниматься всеми рассуждениями относительно путей, проходимых при различных движениях, относительно времен, затрачиваемых на их прохождение, а также определением скоростей... Она должна изучать также различные приспособления, при помощи которых можно преобразовать одно движение в другое; называя эти приспособления машинами, следует определить их как приспособления, служащие для преобразования направления и скорости заданного движения. Вот этой-то науке, в которой движения следует изучать сами по себе, такими, какими мы наблюдаем их в телах, нас окружающих, и, в частности, в приспособлениях, называемых машинами, я дал название кинематики ...»<sup>228</sup>.

<sup>226</sup> *Ньютон И.* Математические начала натуральной философии. В кн.: Крылов А.И. Соч., т. VII. М.-Л.: АН СССР, 1936, с. 1.

<sup>227</sup> *Weine C.* Franz Reuleaux und die Grundlagen seiner Kinematik. In: Deutsches Museum Abhandlungen und Berichte, Heft 4. Berlin: VDI-Verlag GmbH, 1942, S. 93.

<sup>228</sup> *Боголюбов А.Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М.: Наука, 1976, с. 147. Остальные две части механики по классификации Ампера — это статика и динамика. «После того как кинематика изучила движение независимо от сил, а статика эти последние независимо от первых, остается рассмотреть их одновременно, сопоставить силы с движением, которые они производят, и из этого сопоставления вывести общие законы движения, при помощи которых можно было бы по данным движениям вычислять силы, их производящие, и, наоборот, по данным силам определять производимые ими движения. Эти две общие задачи и законы, о которых мы сейчас упомянули, и составляют предмет науки, называемой динамикой» (см.: Лаланд А. Этюды по философии наук. СПб., 1897, с. 45). Разграничение и в то же время единство кинематики, статики и динамики в классификации наук Ампера отражало существование таких отношений в реальной инженерной практике. Все эти три дисциплины были отнесены к одному объекту исследования — машине. Кроме того, необходимо отметить особую тесную связь в этой классификации между кинематикой и статикой (они отнесены к одному разряду механики — механике элементарной) как двух основных типов расчета механизма.

Ф. Рело также различал в кинематике исследования естественных движений, например планет вокруг Солнца, и искусственных движений, например колеса машины вокруг своей оси. В первом случае движение происходит и сохраняется за счет таких внешних сил, как инерция, тяготение, центробежная сила, и в любое время может быть нарушено, например влиянием других планет, комет и т. п. Во втором случае движение является принудительным, как движение колеса на твердо закрепленном валу<sup>229</sup>. Рело пытается построить особую «кинематическую» геометрию, называя ее «чистой кинематикой», описывающую различные приемы решения задач. Эти приемы отдельно разрабатываются им для любых тел и лишь затем прилагаются к машинам. Он следующим образом определяет статус прикладной механики как самостоятельной науки: «я называю ее наукой и не думаю, чтобы это было большой претензией с моей стороны: если угодно, назовите ее наукой второго или третьего порядка; она пользуется в своей области исследования научным методом и мало-помалу завоевывает свою самостоятельность, которая сделала необходимым ее обособление от других наук»<sup>230</sup>. Однако наукой прикладная механика стала значительно позже. При этом важно отметить, что сначала «кинематика возникла как прикладная наука: теоретическая кинематика выделилась в теоретической и аналитической механике позже»<sup>231</sup>. В начале XX в. стали развиваться два направления: во-первых, механика как математическая наука и как физическая наука, как наука о природе и, во-вторых, механика как теоретическая основа техники.

Однако такое разграничение существовало и раньше. Простейшие виды движения классифицировали еще Леонард Эйлер и Д'Аламбер. «Они рассмотрели элементарные движения — поступательное движение твердого тела и вращательное движение вокруг неподвижной оси и показали, что движение около неподвижной точки можно рассматривать как совокупность мгновенных вращений вокруг переменной мгновенной оси. Они исследовали плоскопараллельное и пространственное движение свободного твердого тела и показали, что это сложные движения, которые можно разложить на элементарные движения»<sup>232</sup>. Эйлер, например, доказал теорему о том, что при сложении двух вращательных движений, оси которых проходят через одну точку, получается также вращательное движение вокруг оси, проходящей через ту же точку. Исследовалось также превращение винтового движения во вращательное или в поступательное движение. При этом многие вопросы кинематики твердого тела разрабатывались в связи с исследованием небесной механики, а также движения корабля и движения механизмов, например 4-звенного кривошипного механизма. Причем даже в случае кинематического исследования механики механизмов и машин для этого направления движения в них представлялись частным случаем движения твердого тела, например движение четырехзвенника представляло интерес с точки зрения изучения циклических кривых. Эйлер, например, в работе «Полная теория машин, приводимых в движение водой», изданной в 1756 г.,

<sup>229</sup> *Weihe C.* Указ. соч., S. 94–95.

<sup>230</sup> *Reuleaux F.* *Theoretische Kinematik.* Bd. 1. Braunschweig, 1875, S. 39–40.

<sup>231</sup> *Боголюбов А. Н.* Указ. соч., с. 147.

<sup>232</sup> *Григорьян А. Т., Фрадлин Б. Н.* *История механики твердого тела.* М.: Наука, 1982, с. 116.

дает теоретическое описание общего движения идеальной несжимаемой жидкости в достаточно узких трубках двоякой кривизны, вращающихся вокруг оси<sup>233</sup>. При этом параллельно развивается новый математический аппарат; например векторное исчисление, доказываются теоремы и разрабатываются частные теоретические схемы, например теория винтов (о возможности приведения любого движения твердого тела к винтовому движению). «В середине XX в. в связи с новыми задачами, связанными с динамикой ракет, теорией прочности резервуаров, гидростроительством, теорией корабля и другими вопросами, особенно важной стала проблема движения твердого тела с полостями, полностью или частично заполненными жидкостью. Появилось много исследований в этой области...», например «исследование линеаризованных уравнений движения с применением методов теории малых колебаний и спектральной теории операторов...»<sup>234</sup>. Как видим; и в этом направлении технические задачи стимулировали постановку и исследование естественнонаучных проблем, результаты которых были важны и использованы для инженерных разработок. Однако само это направление разрабатывалось в плане развития естественнонаучной теории.

Второе направление — техническая механика как теоретическая основа техники — кинематики машин и механизмов, превратившаяся, в конечном счете в новую техническую теорию — теорию механизмов и машин.

Последовательную, универсальную для исследования различных механизмов теоретическую схему разработал в конце XIX в. российский машиновед Л.В. Ассур исходя из единых принципов их структурной классификации. Его целью была разработка системы общего кинематического и кинетостатического<sup>235</sup> анализа механизмов любого строения. В связи с этим он расширяет и понятие кинематической цепи, рассуждая следующим образом: «Если ввести в терминологию степень изменяемости, то можно обобщить термин кинематической цепи и говорить о кинематических цепях разных степеней изменяемости. С этой точки зрения различие между фермой и механизмом только в степени изменяемости, лежащей в основе их кинематической цепи». При неподвижном укреплении одного звена такой цепи образуется ферма. Если говорить о статически определимых фермах, то достаточно «будет указывать, что лежащая в основе их цепь неизменяема»<sup>236</sup>. Такая схема предоставляла возможность не только распределять механизмы на группы по общим признакам, но и применять общие методы решения задач. Некоторые из них были разработаны самим Асуром, например методы «особых точек», «ложных картин скоростей» и др., иные же, разработанные ранее другими учеными и инженерами, он включил в контекст своей классификации. Эти методы

<sup>233</sup> Euler L. Vollständigere Theorie der Maschinen, die durch Wassers in Bewegung versetzt werden. Leipzig: Verlag von Wilhelm Engelmann, 1911.

<sup>234</sup> Григорьян А.Т., Фрадлин Б.Н. Указ. соч., с. 206–207.

<sup>235</sup> Задача кинетостатики механизма возникает, если задачу движения механизма под действием некоторой системы сил свести к задаче определения условий равновесия механизма и сил взаимодействия между его звеньями, а также сил, действующих на отдельные звенья.

<sup>236</sup> Артоболевский И.И., Боголюбов А.Н. Леонид Владимирович Асур. 1878–1920. М.: Наука, 1971, с. 153–154.



заклучались в установлении четкого соответствия между геометрическими представлениями механизма (функциональными схемами) и его кинематическими (поточными) схемами: «... дважды применив к описанию структуры механизмов процесс схематизации, Ассур приходит к некоторым образцам, являющимся схемами каких-то конкретных механизмов, но над которыми можно производить некоторые формальные операции». В анализе структуры кинематических цепей метрические соотношения и форма отдельных звеньев не играют никакой роли, поэтому их изображение становится предельно простым: следует «бесповодковые звенья обозначить кружками, поводковые соединительные цепи — прямыми линиями, а замки пунктиром, неподводковые звенья, а также группы их, примыкающие к бесповодковым звеньям, — кривыми линиями. Тогда замкнутую цепь любого типа можно будет изобразить в виде кружков, соединенных между собой системами линий». Эта математическая схема, полученная путем выхолащивания механической сущности, наводит его на мысль о возможности использования незнакомого ему прежде математического направления — топологии. «Таким образом, задача структурного анализа механизмов оказывается задачей топологической ...»<sup>237</sup>. Скажем, при использовании метода аналогов скоростей и ускорений решение задачи распадается на два этапа: с помощью аналогов скоростей и ускорений определяется геометрическая модель движения, а затем с помощью кинематических и динамических данных движение механизма приводится к данному конкретному случаю.

«Метод планов скоростей ... заключается в следующем: от некоторой предварительно выбранной точки, называемой полюсом плана скоростей, проводится вектор, изображающий скорость одной точки звена механизма, принятого за ведущее. Из конца этого вектора проводится прямая линия в направлении относительной скорости точки, принадлежащей соседнему звену механизма. Полная скорость этой точки проводится из полюса плана. Пересечение обеих линий и определяет искомую точку плана. Таким образом, эта графическая ориентация приводит к изображению фигур, стороны которых перпендикулярны сторонам схемы механизма ...; она соответствует решению двух векторных уравнений, каждое из которых определяет направление некоторой прямой». Определение масштаба построения является второстепенным, поскольку существует отношение подобия «между конфигурацией механизма в данном мгновенном положении и картиной плана скоростей». Методика Ассура и служит для определения точек механизма каждого мгновенного его положения. «Таким образом, определение неизвестной скорости некоторой точки механизма действительно оказывается тождественным с графическим решением двух векторных уравнений, и метод планов скоростей органически соответствует структуре механизмов. Соотношения подобия, существующие между элементами плана скоростей и соответствующими элементами схемы механизма, дают возможность решить и обратную задачу — определить положение интересующих нас точек механизма (или связанных с ним механизмов)». Конечной целью расчета механизма с помощью, в частности, метода построения планов скоростей и ускорений механизма является построение надежного и долго работающего механизма, что достигается лишь

---

<sup>237</sup> Артоболевский И. И., Боголюбов А. Н. Указ. соч., с. 110, 113, 114.

при достаточной прочности составляющих его звеньев. «Таким образом, мы приходим к вопросу об определении давлений в парах механизма, от которого зависит уже определение напряжений в звеньях, которое решается средствами учения о деталях машин. Но для определения давлений необходимо предварительно определить все силы, действующие на соответствующие звенья, в частности силы инерции. А для этой последней цели нужно предварительно построить планы скоростей и планы ускорений механизмов». Поскольку задача заключается в расчете максимальных значений сил, действующих на исследуемый механизм, и максимальных значений ускорений его точек, то графические построения должны быть выполнены не для одного, а для нескольких положений механизма. Тем самым задается переход от его поточной схемы, описывающей непрерывное движение механизма и его частей, к последовательности геометрических построений (функциональных, т. е. математических схем), на которых могут быть проведены расчеты стандартными математическими методами. «Тогда с помощью некоторых дополнительных графических построений (построения годографов скоростей и ускорений), а также решения некоторых систем уравнений удастся определить опасные значения напряжений и методами теории механизмов и машин изменить в нужном направлении создавшееся положение». Иными словами, инженерная задача разработки надежного, прочного и длительно действующего механизма сводится к научной проблеме исследования давлений в парах механизма с целью определения напряжений в его звеньях, что в контексте физического представления означает определить силы, действующие на его звенья. При этом сам механизм рассматривается как некоторое физическое тело, в естественном, а не искусственном модусе рассмотрения. Далее, модифицируя эту научную проблему в математическую задачу, необходимо представить механизм и его движения уже не как движения физического тела, а как ряд геометрических фигур, каждая из которых соответствует определенному положению элементов механизма, причем его элементы рассматриваются теперь в виде математических точек, а силы, на них действующие, — в виде векторов.

Ассур рассуждает следующим образом: «пусть задано жесткое звено  $ABC$  и известны скорости трех его поводков ... в конечных точках  $D, E, F$  (рис. 62).

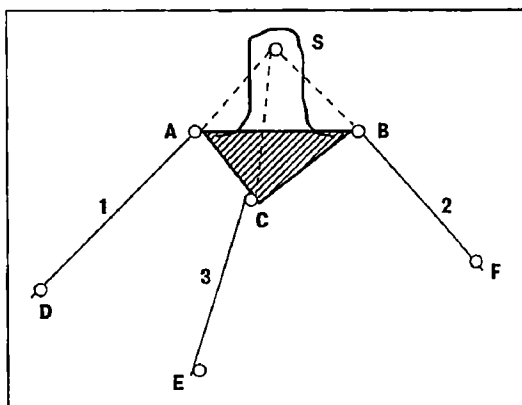


Рис. 62. Пример изображения механизма в виде геометрической схемы

Требуется определить скорости вершин жесткого звена. Определим сначала проекции скоростей точек  $D, E, F$  на направления соответствующих поводков. Если направления двух поводков (например, 1 и 3) «пересекаются» в точке  $S$ , то для этой точки, принадлежащей жесткому звену, по двум известным проекциям скорости определится полная скорость. Проектируя затем скорость точки  $S$  на направление  $SC$ , определим проекцию скорости точки  $C$ . Следовательно, можно по двум проекциям определить скорость точки  $C$  и, наконец, по известным двум скоростям точек  $S$  и  $C$  можно определить скорости точек  $A$  и  $B$  жесткой фигуры».

На базе такого рода обобщенной, или универсальной для данного класса технических систем (механизмов) теоретической схемы, В.В. Добровольский и И.И. Артоболевский создали математизированную теорию механизмов. «Характерной особенностью науки о механизмах первой половины XIX века является то, что она возникла как описательная наука и такую же продолжала оставаться. Математические методы в ней за очень небольшим исключением не применялись. Преобразование кинематики механизмов и создание на основании ее принципов расчетной науки было начато П.Л. Чебышевым»<sup>238</sup>. В последней четверти XIX в., наоборот, чрезмерное увлечение математическими упражнениями, оторванными от технической практики, привело к известному отчуждению техников от теоретиков, по мнению которых «физическое и инженерное мышление угнеталось формальными математическими рассуждениями». Редакции многих технических журналов не хотели принимать к публикации статьи математического содержания, «потому что результаты их зачастую оказывались в кричащем противоречии с действительностью»<sup>239</sup>. Однако необходимость использования математических методов не оспаривалась, речь шла о разработке и применении таких методов, которые давали бы средства решения практических технических задач. Однако в развитии теории механизмов и машин настал такой момент, когда был поставлен вопрос о математизации этой теории в целом, переведший ее «из разряда прикладных наук в разряд наук фундаментальных»<sup>240</sup>.

Причем для решения этого вопроса возникла необходимость некоторой модификации обобщенной теоретической схемы, введенной Ассуром. «Добровольский распространил принцип построения цепей, выработанный Ассуром для плоских механизмов на любые пространственные механизмы». И.И. Артоболевский поставил в качестве цели исследования опыт создания единой теории структуры кинематических цепей: «В учении об элементах почти не делалось попыток установить связь и преемственность методов структурного анализа с методами кинематического и динамического анализа. Отсутствие подобной преемственности методов нам кажется существенным недостатком. Структурный анализ, кроме самостоятельных целей, имеет задачей дать исчерпывающий ответ на вопрос о наиболее рациональных методах кинематического и динамического анализа механизмов. Если подходить к вопросам структурного анализа с этой точки зрения, то необходимо пересмотреть и уточнить некоторые основные понятия и определения, относящиеся к теории структуры кинематических цепей»<sup>241</sup>. Каждый механизм стал рассматриваться как кинематическая цепь, состоящая из одного или нескольких замкнутых

---

<sup>238</sup> Артоболевский И.И., Боголюбов А.Н. Указ. соч., с. 63, 125–126, 128, 130–131.

<sup>239</sup> Боголюбов А.Н. Жан Виктор Понселе. 1788–1867. М.: Наука, 1988, с. 192.

<sup>240</sup> Боголюбов А.Н. Иван Иванович Артоболевский. 1905–1977. М.: Наука, 1982, с. 131.

<sup>241</sup> Артоболевский И.И., Боголюбов А.Н. Указ. соч., с. 195–196.

контуров и нескольких замкнутых цепей, служащих для присоединения звеньев контура к основным звеньям механизма. Для того чтобы образовать из контура-ядра новые механизмы, принадлежащие к данной группе, необходимо присоединить к нему поводки и ветви. В результате проведения такой классификации выяснилось, что механизмы одного и того же рода исследуются идентичными методами. Это позволило создать общую теорию кинематических цепей с развитым слоем функциональных схем. В теории механизмов появилась возможность получать новые конструктивные схемы механизмов дедуктивным способом.

Таким образом, в работах Добровольского и Артоболевского впервые теоретическая модель была спроецирована на класс потенциально возможных (гипотетических) технических систем определенного типа — механизмов. Артоболевский следующим образом характеризует полученные результаты:

«1. Законы структурного образования являются общими для всех механизмов.

2. Анализ общих законов структуры механизмов позволяет установить все возможные семейства и роды механизмов, а также создать единую общую классификацию механизмов.

3. Структурный и кинематический анализ механизмов одного и того же семейства и класса может быть проведен аналогичными методами ...

4. Проведенные исследования показывают, что современная техника использует очень малое количество механизмов. Предлагаемый ... метод структурного анализа дает возможность обнаружить огромное число новых механизмов, до сих пор не применявшихся в технике. Эти новые виды механизмов могут быть рекомендованы к использованию на практике ...»<sup>242</sup>.

Дальнейшее развитие этой технической теории шло по пути разработки все более обобщенной теоретической схемы, ее развертывания в соответствии с заданными принципами. Во-первых, она была распространена на новые типы конструктивных элементов — пространственные механизмы и жидкие звенья и др. Во-вторых, кинематическое представление — структурная схема теории механизмов — было распространено на двигатель и орудие: машина — это механизм в работе, машина на холостом ходу — это механизм. Двигатель и орудие рассматриваются в этом случае как двигательный и исполнительный механизмы. В-третьих, методы и теоретические схемы динамики были предложены для исследования передаточных механизмов. Именно поэтому данная теория получила название теории механизмов и машин. Доказательством универсальности построенной Добровольским и Артоболевским теоретической модели и правильности выводов из нее явилась сама инженерная практика. Данная модель оказалась весьма действенным инструментом в руках конструкторов,

---

<sup>242</sup> Добровольский В. В., Артоболевский И. И. Структура и классификация механизмов. М.-Л.: Мысль, 1939, с. 65.

поскольку позволила облегчить создание новых механизмов и вооружила конструкторов научно обоснованными методами проектирования механизмов. Однако при синтезе новых механизмов нельзя ограничиваться лишь структурным синтезом на основе исследования возможных сочетаний кинематических пар, образующих такие вновь синтезированные цепи, а важно учитывать всевозможные конструктивные параметры и функциональное назначение механизмов, т. е. перейти от функциональных и поточных к структурным (конструктивным) схемам. Для этих целей был привлечен и соответствующий «математический аппарат: теории приближенных функций, матрично-тензорный анализ, винтовое исчисление и другие разделы современной математики»<sup>243</sup>.

*От естественнонаучной теории через техническую теорию  
к инженерной практике  
(на примере классической электродинамики и радиотехники)*

Формирование естественнонаучной теории электромагнитных взаимодействий первоначально было связано с выдвижением двух альтернативных теорий, одна из которых была основана на принципе дальнего действия ньютоновской механики, а другая — на принципе ближнего действия картезианской физики. Первая теория электродинамики исходила из методологических принципов ньютоновской физики, допуская мгновенную передачу электрической силы на расстояние, вторая — напротив, предполагала наличие промежуточной среды (электромагнитного поля) для передачи электрических и магнитных действий.

1. *Принцип дальнего действия ньютоновской механики основывался на допущении действия физических сил (не только тяготения, но и электрических и магнитных) на расстоянии. Этой теории придерживались, например, Андре-Мари Ампер, Вильгельм Вебер, Карл и Франц Нейман и др. Согласно этой теории «две электрические частицы непосредственно действуют одна на другую на расстоянии с силой, которая, по Веберу, зависит от их относительной скорости, а по теории, намеченной Гауссом и разработанной Риманом, Лоренцем и Нейманом, действует не мгновенно, а после известного промежутка времени, зависящего от расстояния»<sup>244</sup>. Это представление электромагнитных взаимодействий выводится из принципов ньютоновской физики, согласно которой в «абсолютном пространстве», незаполненном материей (пустоте), действие сил передается от тела к телу (другими словами, от материальной точки к точке) мгновенно на любые расстояния.*

Эйнштейн следующим образом суммирует позицию ньютоновской физики: «Согласно системе Ньютона, физическая реальность

<sup>243</sup> Артоболовский И. И., Боголюбов А. Н. Указ. соч., с. 255.

<sup>244</sup> Максвелл Д. К. Доклад математической и физической секции Британской ассоциации (О соотношении между физикой и математикой). В кн.: Джемс Клерк Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 18.

характеризуется понятиями *пространства, времени, материальной точки, силы* (или эквивалентным ей взаимодействием материальных точек), а физические явления нужно рассматривать как подчиняющиеся определенным законам движения материальной точки в пространстве. Материальная точка является единственным представителем реальности, поскольку она изменчива. К понятию материальной точки, безусловно привели наблюдаемые тела; материальную точку можно себе представить подобной лишенному признаку протяженности, формы, пространственной ориентации, всех «внутренних» свойств, сохранивших лишь инерцию и трансляцию, движущемуся телу, к которому лишь добавляется понятие силы. Материальные тела, которые психологически вызвали образование понятия «материальная точка», со своей стороны сами должны были теперь рассматриваться как система материальных точек. Необходимо отметить, что по своей сущности эта теоретическая система является атомистической и механистической. Все события рассматриваются чисто механически, т. е. как происходящие по закону Ньютона простые движения материальных точек»<sup>245</sup>.

Таким образом, главный вопрос физической концепции — как происходит передача силы: «Зависит ли это взаимодействие от существования некоторой третьей вещи, некоторой среды, приводящей одно тело в сообщение с другим и занимающей пространство между обоими телами, или же тела действуют друг на друга непосредственно, без участия чего-либо иного?»<sup>246</sup>. Сторонники действия на расстоянии, продолжает Максвелл, утверждают, что даже там, где «действие и представляется давлением непрерывных частей вещества, то эта непрерывность только кажущаяся», поскольку, по их мнению, «между телами, действующими друг на друга, *всегда* находится промежуточное пространство». Они апеллируют к закону тяготения Ньютона, подтвержденному чуть ли ни каждым астрономическим наблюдением, который «не только утверждает, что небесные тела действуют друг на друга через неизмеримые пространства, но что две части вещества, одна, лежащая на тысячу миль под землей, другая, погребенная на сотни тысяч миль в недрах Солнца, действуют друг на друга с точно такой же силой, как будто бы этих слоев, под которыми каждая из них скрыта, вовсе не существовало». Сторонники этой точки зрения, таким образом, отрицают наличие среды, передающей силу от тела к телу, и считают такой способ действия единственным<sup>247</sup>.

Максвелл, однако, подчеркивает, что эта точка зрения в такой крайней форме развита не самим Ньютоном, а его последователями. Сам Ньютон оставял этот вопрос открытым. Максвелл приводит его высказывание, из которого видно, что Ньютон сомневался, возможно ли вообще воздействие одного тела на другое через пустоту, без участия

---

<sup>245</sup> *Эйнштейн А.* Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности. В кн.: Джемс Клерк Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 243–244.

<sup>246</sup> *Максвелл Д. К.* О действиях на расстоянии (там же, с. 48).

<sup>247</sup> Там же, с. 53.

посредника, и даже «сделал попытку объяснить тяготение при помощи давления некоторой среды», однако не опубликовал этого мнения, так как не удалось дать удовлетворительного доказательства существования такой среды опытным путем, а также объяснения способа ее действия. Поэтому, чтобы «Ньютонов метод был распространен на все отрасли науки, к которым он приложим», необходимо «исследовать силы, с которыми тела действуют одно на другое, прежде, чем пытаться объяснить, как сила передается»<sup>248</sup>. Сам Максвелл отрицает продуктивность использования принципа дальнего действия для объяснения электромагнитных взаимодействий. Многие известные физики того времени исходили, однако, именно из этого принципа, формулируя свои теории электродинамики.

Наука об электричестве началась с установления закона Кулона. Важное значение для ее развития имело также изобретение в 1800 г. непрерывно действующего гальванического источника электрического тока, названного «вольтов столб» по имени его изобретателя, итальянского физика Алессандро Вольта. Кавендиш, Кулон и Пуассон, которых Максвелл по праву называет «основателями точной науки об электричестве и магнетизме», определили закон силы, «согласно которому наэлектризованные и намагнитенные тела взаимно притягивались и отталкивались. Таким образом были открыты истинные законы этих действий, и это было сделано исследователями, которые никогда не сомневались, что действие происходит на расстоянии, без посредства какой-либо среды, и которые посмотрели бы на открытие подобной среды скорее как на осложнение, чем как на уяснение несомненных явлений притяжений»<sup>249</sup>.

В 1820 г. Ганс Христиан Эрстед открыл действие электрического тока на магнитную стрелку, «впервые было обнаружено взаимодействие, направленное не по прямой, соединяющей испытываемые объекты, — в его опыте магнитная стрелка устанавливалась перпендикулярно направлению тока, в плоскости, также перпендикулярной этому направлению». Результаты этого опыта не согласовывались с господствовавшей тогда теорией центральных сил, основанной на том, что все явления в природе могут быть сведены к точечным центрам сил, взаимодействующим друг с другом на расстоянии, причем это действие на расстоянии предполагалось распространяющимся мгновенно<sup>250</sup>. Согласно этой теории силы, действующие между проводником с током и магнитной стрелкой, представляют собой силы притяжения и отталкивания, подобные ньютоновским силам всемирного тяготения между электрическими зарядами. Эрстед, открыв связь между электричеством и магнетизмом, показал, что электрический ток не притягивает или отталкивает магнитный полюс, а «заставляет его двигаться вокруг тока», т. е. «столкновение электричеств действует вращающимся

<sup>248</sup> Максвелл Д. К. О действиях на расстоянии. В кн.: Максвелл Джемс Клерк. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 54, 55.

<sup>249</sup> Там же, с. 55.

<sup>250</sup> Кирсанов В. О. Максвелл: создание электромагнитной теории. В кн.: Максвелл и развитие физики XIX и XX веков. М.: Наука, 1985, с. 58.

образом». На основании этого факта он сделал вывод, что «действие тока на магнит не есть сила тяги или толчка, но вращающаяся сила, и, сообразно этому, многие погрузились в размышления об эфирных вихрях и потоках, кружащихся вокруг тока»<sup>251</sup>. Например, Ампер, задавшись вопросом, почему проводник, через который протекает электрический ток, действует на магнитную стрелку, утверждал, что магнит представляет собой совокупность токов, т. е. в нем есть «множество элементарных круговых токов, текущих в плоскостях, перпендикулярных к его оси»<sup>252</sup>.

Французский физик и математик Андре-Мари Ампер<sup>253</sup>, изобретший термин «электродинамика», открыл взаимодействие токов на расстоянии. Закрепив один проводник и оставив подвижным другой, параллельный ему, он пропустил через эти проводники ток и наблюдал их взаимодействие. При одинаковых направлениях токов они притягивались, а при противоположных — отталкивались. Он обнаружил также резкое различие статического электричества и действия электростатических сил от действия проводников с током. Область явлений с покоящимися электрическими зарядами он назвал электростатикой, а с движущимися зарядами — электродинамикой. Он показал также опытным путем, что статическое электричество не действует, а движущееся электричество действует на магнитную стрелку, таким образом сведя все магнитные явления к электрическим. Будучи математиком, Ампер сформулировал математический закон взаимодействия токов, носящий его имя. Но формула этого закона была намного сложнее, чем ньютоновского закона тяготения, и предпринималось множество попыток упростить ее. Этот закон составил основу всех последующих теорий дальнего действия в области электродинамики, которые строились по образцу ньютоновской теории действия на расстоянии. Именно поэтому Максвелл назвал Ампера «Ньютоном электричества». Одновременно закон Ампера стал основополагающей составной частью современной электродинамики. Хотя этот закон описывал лишь квазистационарные процессы, Максвелл расширил его действие на быстро изменяющиеся электродинамические процессы<sup>254</sup>.

---

<sup>251</sup> Максвелл Д. К. О действиях на расстоянии. В кн.: Джемс Клерк Максвелл. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 56.

<sup>252</sup> Замечательные ученые / Под ред. С. П. Капицы. М.: Наука, 1980, с. 74.

<sup>253</sup> Там же. Андре-Мари Ампер (1775–1836) был с 1804 г. преподавателем, а с 1807 г. профессором математики Парижской политехнической школы, в 1808 г. был, кроме того, назначен главным инспектором университетов. В 1814 г. избран членом Французской академии наук за заслуги в области математики. Ампер, однако, мечтал читать курс физики, а не математики. В 1824 г. он был избран, наконец, профессором общей и экспериментальной физики Коллеж де Франс, одного из старейших учебных заведений Франции (основан в 1530 г.), совмещавшего в себе функции учебного и научно-исследовательского учреждения.

<sup>254</sup> *Tepe R. Elektrodynamik im 19. Jahrhundert.* In: *Heinrig Hertz: Festschr. Anlässl. d. Erforschung d. elektromagnet. Wellen vor 100 Jahren.* Berlin: Heinrich-Hertz-Inst., 1988, S. 24.



Электродинамика, основывающаяся на принципе дальнего действия, наиболее систематически была развита в работах Вебера. «Вебер хотел найти общий закон, из которого в качестве частных выводов вытекалы бы законы электростатики и электродинамики. При этом в очень явной форме выявилось коренное различие между электродинамическими силами и центральными силами ньютоновской механики»<sup>255</sup>. Программа Вебера основывалась на принципе дальнего действия и мгновенной передаче силы от одной электрической корпущулы к другой, причем эти корпущулы рассматриваются как элементарные частицы, которые могут быть положительными и отрицательными и из которых построены эфир и весомая материя. «В проводнике они образуют своеобразный «электронный газ», а в непроводящих веществах и мировом пространстве — световой эфир». Процесс распространения света, по Веберу, состоит в передаче колебаний от одной частицы к другой. Молекулы весомай материи образуются из равного количества невесомай электрических корпущул обоих знаков. Вебер признает конечность скорости распространения электрического действия, в то же время передача этой силы от молекулы к молекуле происходит бесконечно быстро<sup>256</sup>.

В истории науки программы Вебера и Максвелла обычно рассматриваются как взаимоисключающие. Однако идея дальнего действия также может дать непротиворечивое истолкование тех же фактов, что и электродинамика, основанная на принципе близкого действия, что отмечает и сам Максвелл. «Обе эти теории объясняют не только те явления, с помощью которых они были первоначально построены, но и другие явления, о которых в то время не думали и которых, может быть, тогда не знали; обе теории самостоятельно привели к одним и тем же численным результатам, выражающим абсолютную скорость света в электрических единицах.

Тот факт, что две теории, по-видимому, столь существенно противоположные, верны в очень широкой области, общей для них обеих, действительно имеет философское значение, которое мы сможем полностью оценить только тогда, когда достигнем такой высоты научного понимания, с которой нами может быть усмотрена действительная связь между столь различными гипотезами»<sup>257</sup>.

2. *Принцип близкого действия картезианской физики* стал основой электродинамической теории, разработанной и экспериментально подтвержденной Фарадеем, Максвеллом и Герцем. Согласно программе Максвелла, основывавшейся на принципе близкого действия, скорость распространения электрического действия конечна и зависит от свойств промежуточной среды. Поскольку эта теория основывалась

---

<sup>255</sup> Кузнецов Б.Г. Электродинамика Максвелла, ее истоки, развитие и историческое значение (к 75-летию со дня смерти Максвелла) // Труды Института истории естествознания и техники, т. 5. М.: Мысль, 1955, с. 140.

<sup>256</sup> Булюбаш Б.В. Максвелл и электродинамика Вебера. В кн.: Максвелл и развитие физики XIX и XX веков. М.: Наука, 1985, с. 76–83.

<sup>257</sup> Максвелл Д.К. О действиях на расстоянии, с. 18–19.

на принципе близкодействия и теории вихрей, развитых Декартом, рассмотрим кратко основные положения картезианской физики.

Декарт противопоставляет две субстанции — мыслящую и протяженную; первая из них — ум — субстанция неделимая и является предметом метафизики, вторая — тело — субстанция делимая и составляет предмет физики, т. е. механики.

Основные характеристики протяженной субстанции — величина, фигура, движение, расположение частей. Материя как протяженная субстанция — это тоже плотное, неизменное, устойчивое, беспредельное и бесконечно делимое тело. «Представим нашу материю настоящим телом, совершенно плотным, одинаково наполняющим всю длину, ширину и глубину того огромного пространства, на котором остановилась наша мысль. Представим далее, что каждая из ее частей занимает часть этого пространства, пропорциональную своей величине, и никогда не может заполнить больший или сжиматься в меньший объем или допустить, чтобы одновременно с ней какая-нибудь другая часть материи занимала то же самое место»<sup>258</sup>. Сущностью телесной субстанции является пространство. Центральным положением научной программы Декарта как раз и является отождествление материи и пространства. «Пространство, или внутреннее место, разнится от телесной субстанции, заключенной в этом пространстве, лишь в нашем мышлении. И действительно, протяжение в длину, ширину и глубину, составляющее пространство, составляет и тело ... Рассматривая ... этот камень, мы обнаружим, что истинная идея, какую мы о нем имеем, состоит в одном том, что мы отчетливо видим в нем субстанцию, протяженную в длину, ширину и глубину; то же самое содержится и в нашей идее о пространстве, причем не только о пространстве, заполненном телами, но и о пространстве, которое именуется «пустым»<sup>259</sup>.

Декарт не допускает существования пустоты<sup>260</sup>.

Если «между телами не находится ничего, то они необходимо должны касаться друг друга»<sup>261</sup>. Все отдельные тела как части материи-тела касаются друг друга, полностью заполняя пространство. «Если Вы получаете представление о протяжении, видя взаимное расположение частей, то Вы не можете отрицать, что каждая из них касается других соседних частей. И эта касаемость (осязаемость) протяженных частей есть подлинное внутреннее присущее телу свойство, но это не относится к тому осязанию, которое получает свое название от чувства осязания»<sup>262</sup>. Непроницаемость, таким образом, также принадлежит к сущности протяжения. Причем речь идет об объективной сущности тел, а не о той, которую мы воспринимаем нашими органами чувств.

---

<sup>258</sup> Декарт Р. Избр. произведения. М., 1950, с. 476.

<sup>259</sup> Там же, с. 469–470.

<sup>260</sup> Как известно, Блез Паскаль экспериментально доказал, проводя опыты со столбиком ртути, высота которого измерялась им у подножия горы и на ее вершине, что пустота действительно существует. Декарт же интерпретировал результаты этого, по всей вероятности, даже им самим подсказанного Паскалю опыта, иначе. Он считал, что пространство над столбиком ртути в запаянной трубке заполнено тончайшей прозрачной материей (Матвиевская Г.П. Рене Декарт. М.: Наука, 1976, с. 118).

<sup>261</sup> Декарт Р. Указ. соч., с. 474.

<sup>262</sup> Декарт пишет об этом в одном из своих писем в апреле 1649 г. (см.: Гайденко П.П. Эволюция понятия науки (XVII–XVIII вв.). М.: Наука, 1987, с. 161.

Движение является также важнейшим атрибутом материи: «в мире нет неподвижных точек», поэтому «ни для какой вещи в мире нет твердого и постоянного места»<sup>263</sup>.

Место для Декарта в отличие от Аристотеля — это понятие относительное, никакого «естественного места» поэтому существовать не может. Абсолютной точки отсчета в мире не существует, и все зависит от того, как мы сами выделяем определенные тела, принимая их за неподвижные или движущиеся относительно других тел. Сущность мироздания составляет материя как протяжение, части которого перемещаются. Под движением же Декарт понимает только перемещение. «Движение есть нечто иное, как действие, посредством которого данное тело переходит с одного места на другое ... Оно есть перемещение одной части материи, или одного тела, из соседства тех тел, которые непосредственно его касались и которые мы рассматриваем как находящиеся в покое, в соседстве других тел»<sup>264</sup>. Причем тело остается в определенном состоянии до тех пор пока какое-нибудь другое тело не выведет его из этого состояния. Отсюда должно заключить, что тело, раз начав двигаться, продолжает это движение и никогда само собою не останавливается»<sup>265</sup>.

В отличие от аристотелевского мира в картезианском мире самым совершенным является не круговое, а прямолинейное движение.

Согласно сформулированному Декартом закону инерции всякая вещь «продолжает по возможности пребывать в одном и том же состоянии и изменяет его не иначе, как от встречи с другими»<sup>266</sup>. Поэтому всякое движение в природе, не встречающее препятствия, неизбежно происходит по прямой линии. Причем гарантом такого движения является Бог, который «единственный творец всех существующих в мире движений, поскольку они вообще существуют и поскольку они прямолинейны. Однако различные положения материи превращают эти движения в неправильные кривые»<sup>267</sup>. Таким образом, Декарт признает, что в природе прямолинейных движений не существует, а существуют лишь вихревые движения, подобные вихревым движениям жидкости. «Это движение совершается таким образом, что тела переходят с одного места на другое, последовательно занимая все пространство, находящееся между этими местами»<sup>268</sup>. При этом движение регистрируется как движение лишь относительно других тел. Аристотелевское стремление движения к покою в «естественном месте» рассматривается Декартом как саморазрушение движения. Основанием же неизменности движения и закона инерции является неизменность Бога. В реальном мире, заполненном материей, в котором не существует пустоты, любые движущиеся тело или частица встречают другое тело или частицу и могут двигаться, если займут место этого другого тела или частицы. «Когда какое-либо тело оставляет свое место другому телу, изгоняющему его, оно вступает на место третьего тела, а это последнее — на место четвертого, и так вплоть до последнего, которое в то же мгновение занимает место, покинутое первым из тел»<sup>269</sup>. В этом и состоит суть вихревого движения, являющегося по своей сути круговым, но уже не

---

<sup>263</sup> Декарт Р. Указ. соч., с. 471.

<sup>264</sup> Там же, с. 197.

<sup>265</sup> Там же, с. 486.

<sup>266</sup> Там же.

<sup>267</sup> Там же, с. 204.

<sup>268</sup> Там же, с. 199.

<sup>269</sup> Там же, с. 482.

идеальным и совершенным, как у Аристотеля, а реально криволинейным, исходящим от природы несовершенной материи, а не от Бога <sup>270</sup>.

Подобным же образом рассуждает и Максвелл относительно электродинамических явлений. «Теория вихрей-атомов не имеет в себе ничего произвольного, не оперирует никакими центральными силами или скрытыми свойствами какого-либо другого рода. Здесь мы имеем дело только с материей и движением, и раз вихрь образовался, то все его свойства определяются первоначальным импульсом и никакие другие допущения уже больше невозможны». Максвелл строит свою теорию на основе теории В. Томсона, согласно которой молекулы имеют свойства кольцеобразных вихрей в однородной, лишенной трения и несжимаемой жидкости. Томсон показал, что среда, находящаяся под воздействием магнитной силы, должна находиться в состоянии вращения. Молекулярные вихри (малые участки среды) вращаются вокруг своей оси, направление которой совпадает с направлением магнитной силы. Максвелл отмечает, что Гельмгольц доказал: «в идеальной жидкости вихревое кольцо, раз оно уже образовалось, будет двигаться вечно и всегда будет составлять ту же порцию жидкости, которая была приведена в вихревое движение; это кольцо никогда не может быть разделено надвое какой-либо естественной причиной» <sup>271</sup>. Отсюда становится ясной причина возникновения у Максвелла идеи сравнить магнитные силовые линии с трубками, заполненными идеальной несжимаемой жидкостью. Эта идея также весьма схожа с картезианским представлением механизма природы как состоящим из различных тончайших трубок и пружин. Максвелл по этому поводу пишет: «Крайняя форма учения о непрерывности выдвинута Декартом, который утверждает, что вся Вселенная одинаково наполнена материей, что вся эта материя одного рода и что единственное существенное свойство — свойство протяженности. Все свойства, наблюдаемые нами в материи, он сводит к подвижности ее частей между другими и, таким образом, к возможности все изменения, которые мы можем наблюдать, выводить из движения ее частей. Потребовалось больше столетия для изобретения методов исследования условий движения систем тел, подобных тем, какие вообразил себе Декарт. Но гидродинамическое открытие Гельмгольца, что вихрь в совершенной жидкости обладает некоторыми неразрушимыми свойствами, приложено было сэром В. Томсоном к созданию теории вихревых атомов в однородной несжимаемой и лишенной трения жидкости ...» <sup>272</sup>. Именно эту модель использует Максвелл для математического описания электромагнитных линий силы.

<sup>270</sup> Вихревая теория Декарта, вероятно, возникла под влиянием В. Гильберта. In.: Hoppe M.-L. Die Abhängigkeit der Wirbeltheorie des Descartes von William Gilberts Lehre vom Magnetismus-Halle, 1914.

<sup>271</sup> Максвелл Д. К. Доклад математической и физической секции Британской ассоциации (о соотношении между физикой и математикой). В кн.: Максвелл Джемс Клерк. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 13, 12.

<sup>272</sup> Максвелл Д. К. Атом (там же, с. 127).

Принимая в качестве истинной концепцию близкодействия картезианской физики для электромагнитной среды и отождествляя свет с электромагнитным возмущением в непроводящей среде, Максвелл заключает: «Обширные межпланетные и межзвездные пространства уже нельзя рассматривать как пустые места Вселенной. Мы находим их уже наполненными этой средой — наполненными так, что ничто не может удалиться ее из самомалейшего участка пространства или произвести легчайший разрыв в ее бесконечной непрерывности. Мельчайшие части этой среды могут иметь, кроме колебательных движений, еще и вращательные, причем оси вращения и представляют те силовые магнитные линии, которые без разрыва непрерывности простираются в области, недоступные ни одному глазу, и которые, действуя на наши магниты, повествуют нам на языке, еще неразгаданном, о том, что происходит в таинственном мире элементарных явлений от минуты до минуты и от века до века»<sup>273</sup>. Это означает «отказ от представлений о дискретном строении материи из атомов, отделенных друг от друга пустотой. «Действительно, — говорит Максвелл, — если вообще энергия передается от одного тела к другому не мгновенно, а в конечное время, то должна существовать среда, в которой она одновременно пребывает, оставив первое тело и не достигнув еще второго»...»<sup>274</sup>.

*Фарадей — развитие обобщенной теоретической схемы электромагнитных взаимодействий, а также соответствия структурных схем эксперимента и поточных схем, описывающих физические силы и процессы*

Фарадей не использовал никакого математического аппарата. «Фарадей по профессии не был математиком. В его описаниях мы не находим тех дифференциальных и интегральных уравнений, которые многим кажутся подлинной сущностью точной науки. Откройте труды Пуассона или Ампера, вышедшие до Фарадея, или Вебера и Неймана, которые работали после него, и вы увидите, что каждая страница пестрит формулами, ни одну из которых Фарадей не понял бы»<sup>275</sup>. Однако его заслуга заключается прежде всего в том, что он описал замеченную до него связь магнитных и электрических частных теоретических схем, введя обобщенную теоретическую схему электромагнитных взаимодействий. «Установив единство природы всех электрических явлений, он поставил себе задачу — создать такую концепцию процесса электризации, электрического действия, которая охватывала все эти явления»<sup>276</sup>. Таким образом, он начинает с

<sup>273</sup> Максвелл Д. К. Указ. соч., с. 61–62.

<sup>274</sup> Коноплева Н. П. Максвелл и современные теории поля. В кн.: Максвелл и развитие физики XIX и XX веков. М.: Наука, 1985, с. 214.

<sup>275</sup> Максвелл Д. К. Фарадей. В кн.: Максвелл Джемс Клерк. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 69.

<sup>276</sup> Максвелл Д. К. О действиях на расстоянии (там же, с. 68).

построения обобщенной онтологической схемы электромагнитных взаимодействий, обобщающей все разработанные до этого частные теоретические схемы<sup>277</sup>. «Фарадей является и навсегда останется творцом того общего учения об электромагнетизме, которое рассматривает с единой точки все явления, изучавшиеся прежде в отдельности, не говоря уже о тех явлениях, которые открыл сам Фарадей, следуя своему убеждению о единстве всей науки»<sup>278</sup>.

Фарадей разработал также концептуальный аппарат, приспособленный для обсуждения электромагнитных явлений в свете идей новой электродинамической теории. Он ввел в научный обиход такие понятия, как «диэлектрический», «силовое поле», «силовые линии», «индукция», «электролиз» и др. Проводя опыты, например в области электролиза, он осуществляет важную для развития электродинамической теории концептуальную работу: полюсы он назвал электродами (положительный электрод получил у него название анода, а отрицательный — катода), вещество, которое разлагается электрическим током — электролитом, а сам процесс разложения — электролизом; составные части, на которые разлагается электролит, — это ионы, причем идущие к аноду ионы — это анионы, а идущие к катоду — катионы.

С помощью известного опыта, регистрирующего изменения магнитной индукции и появление электрического тока в проводниках при изменении их магнитного поля, Фарадей экспериментально обосновал реальное существование электрических и магнитных силовых линий и, следовательно, доказал объективность введенной им теоретической (онтологической) схемы<sup>279</sup>. Максвелл неоднократно подчеркивает, что эти линии не следует рассматривать как чисто математические абстракции. Иллюстрацией их реального существования послужил опыт Фарадея с намагниченными железными опилками.

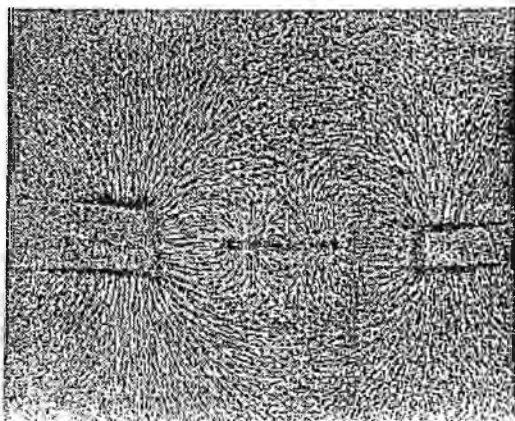
---

<sup>277</sup> Такими частными теоретическими схемами были разработанные, например, Кулоном, Эрстедом и Ампером законы электрического и магнитного взаимодействия. «Основные явления, т. е. электрические и магнитные притяжения и отталкивания, электрический ток и его действие, были открыты до Фарадея. Затем пришли Кавендиш, Кулон и Пуассон; они следовали по пути, намеченному Ньютоном, и, сосредоточив свои исследования главным образом на силах, действующих между телами, обосновали математические теории электрических и магнитных сил. Затем Эрстед открыл основной факт существования электромагнитной силы, а Ампер исследовал математические законы механического взаимодействия между электрическими токами» (Максвелл Д.К. Фарадей. В кн.: Максвелл Джеймс Клерк. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 67). Открытия Гальвани, Вольты, Эрстеда и Ампера привели к пониманию тождества электрических, магнитных и химических явлений. Возник вопрос о единстве всех различных видов электричества, получаемого за счет трения, атмосферного электричества, пьезоэлектричества, термоэлектричества, гальванического, магнитного и животного электричества. Фарадей констатировал со всей определенностью, что все отдельные виды электричества тождественны по своей природе, каков бы ни был их источник. Все эти частные теории или частные теоретические схемы и были обобщены Фарадеем в его схеме электромагнитных взаимодействий.

<sup>278</sup> Максвелл Д.К. Фарадей, с. 67.

<sup>279</sup> Verschuur G. L. Hidden Attraction. The History and Mystery of Magnetism. N.Y.-Oxford: Oxford University Press, 1993.

«В этом опыте каждый кусочек опилок представляет собой небольшой магнит. Разноименные полюсы, принадлежащие различным зернышкам, притягивают друг друга и сцепляются один с другим, и множество опилок прилипает к полюсам магнита, т. е. к концам ряда опилок. Этим путем опилки, вместо того, чтобы образовать на бумаге спутанную систему точек, располагаются рядами — зернышко к зернышку, пока не составятся из них длинные волокна, показывающие своим направлением расположение силовых линий в каждой части поля». Математики считали, что это лишь удобный способ наглядного представления, удобный для последующего математического описания, и не придавали этим линиям онтологического статуса. Сам Фарадей следующим образом описывает достоинства такого наглядного представления: «Экспериментатор, желающий изучать магнитную силу посредством проявления ее магнитными силовыми линиями, поступил бы произвольно и опрометчиво, отказавшись от самого ценного средства, от употребления железных опилок. Пользуясь ими, он может многие свойства этой силы, даже в сложных случаях, тотчас показать наглядно, может проследить глазом различные направления силовых линий и определить относительную полярность, может наблюдать, в каком направлении сила эта возрастает, в каком убывает, а в сложных системах может определить нейтральные точки, или места, где нет ни полярности, ни силы, даже если они встретятся внутри сильных магнитов. При их употреблении вероятные результаты видны сразу и могут быть получены ценные указания для будущих ведущих опытов»<sup>280</sup> (рис. 63).



**Рис. 63.** Изображение магнитного поля с помощью эксперимента с намагниченными железными опилками по Фарадею

(Рисунок взят из книги: G. L. Verschuur *Hidden Attraction. The History and Mystery of Magnetism*. N. Y.—Oxford: Oxford University Press, 1993, p. 84.)

<sup>280</sup> Максвелл Д. К. О действиях на расстоянии, с. 58, 57.

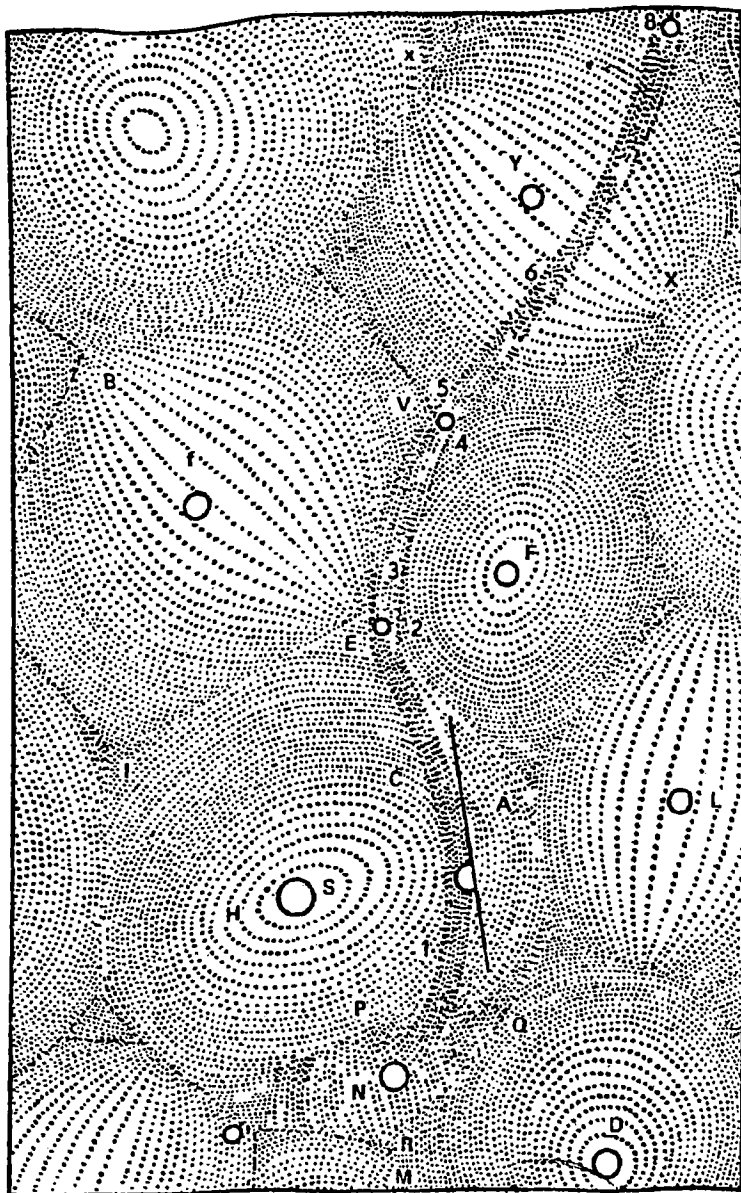
Однако не только наглядность этих силовых линий важна для Фарадея. Он придает им вполне определенный онтологический статус, соотнося изображения, полученные в ходе физического эксперимента, с картиной физической реальности, рассматривая эти линии не как чисто математические абстракции (геометрические силовые линии), а как физические силовые линии, реально существующие в природе. Интересно сравнить его картину исследуемой реальности, моделируемую в эксперименте с намагниченными железными опилками, с картиной реальности, явившейся основой картезианской физики. Декарт придает истинный онтологический статус своей картине физической реальности, апеллируя к Богу: «Бог разделил всю материю, заключенную в пространстве АЕИ (рис. 64), на огромное число мелких частей, движущихся не только каждая вокруг собственного центра, но и все вместе вокруг центра S, а все частицы в пространстве АЕF двигались подобным же образом вокруг центра F; так же вращались и остальные. Частицы образовали таким путем столько вихрей, сколько ныне существует в мире светил (впредь я буду употреблять слово «вихрь» для обозначения всей материи, вращающейся таким образом вокруг каждого из подобных центров)»<sup>281</sup>.

Согласно Фарадею всякое действие означает взаимодействие соседних близлежащих частиц, т. е. является процессом в промежуточной среде. Фарадей был в то время чуть ли не единственным защитником теории электромагнитных явлений, построенной на принципе близкодательства. «Молодой Максвелл напишет потом Фарадею: «Вы — первый человек, которому пришла в голову идея о действии тел на расстоянии через посредство окружающей среды». Дж. Томсон замечает: «Фарадей был глубоко убежден в аксиоме или, если хотите, в догме, что материя не может действовать там, где ее нет». Поэтому существование эфира — упругой, непроводящей среды — он принимал. Через нее — то (быстро, но не мгновенно) и распространяется электрическое действие — последовательно от точки к точке — так что имеет место *близкодательствие*. Пространство, участвующее в передаче электрического действия, Фарадей назвал электрическим полем; оно пронизано потоками электрических и магнитных сил — силовых линий. Силовые линии окружают электрические заряды и магнитные полюсы. «Фарадей, — писал Максвелл, — своим умным глазом увидел силовые линии, пересекающие пространство ...». Они сделали это пространство чем-то живым и реальным. Фарадей считал, что понятие о силовых линиях должно раскрыть загадку природы взаимодействия магнетизма и электричества»<sup>282</sup>. Однако Фарадей для придания объективного статуса принятой им картины электромагнитных взаимодействий в виде электрических и магнитных силовых линий прибегает не к помощи Бога, а к помощи эксперимента.

<sup>281</sup> Декарт Р. Первоначала философии. Соч. В 2 т. Т. 1. М.: Мысль, 1989, с. 392–393.

<sup>282</sup> Кляус Е. М. Джемс Клерк Максвелл. В кн.: Максвелл Джемс Клерк. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 352–353.





**Рис. 64. Изображение вихревой картины реальности по Декарту**  
*(Рисунок взят из книги: Декарт Р. Первоначала философии. Соч. В 2 т.)*

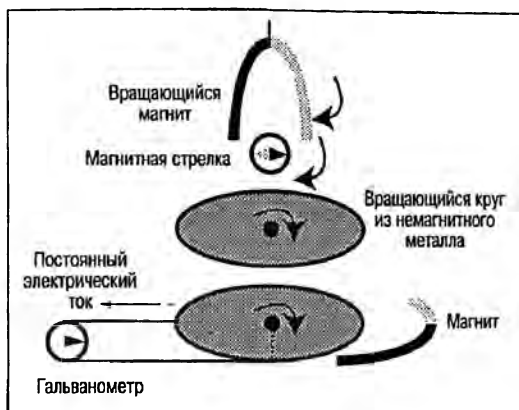
На ряде опытов он показал, что электростатическая индукция действительно зависит от среды. Проводящая электрический ток жидкость в электролитической ванне была заменена им на непроводящую жидкость. В ходе экспериментов с различными подобными жидкостями выяснилось, что емкость конденсатора, образуемого опущенными в эту жидкость металлическими пластинами, изменяется в зависимости от рода такой непроводящей жидкости в ванне. Причем перемещения заряженных частиц в непроводящей жидкости при этом не происходит. Электрические заряды действуют друг на друга через среду, и их взаимодействие определяется не только расстоянием между ними, но и характером среды. Таким образом, деформация среды при передаче электромагнитного действия является реальным природным процессом. К аналогичным выводам приводят Фарадея и результаты его экспериментов в области электромагнитной индукции. Он объяснил возникновение электродинамической силы в проводнике всякий раз при увеличении или уменьшении магнитного поля вокруг него тем, что при этом в пространстве вокруг магнита физическая среда претерпевает деформацию. Она возвращается в первоначальное состояние при прекращении изменения магнитного поля. Фарадей назвал это состояние электротоническим. Этим доказывается реальность физического существования силовых линий. «С точки зрения дальнего действия силовые линии были вспомогательным формальным приемом, чтобы описать геометрическое распределение сил, действующих на заряд в том случае, когда он оказывается в какой-либо точке поля. Только Фарадей, исходя из близкого действия в непрерывной среде, наоборот, переносит электрические явления целиком в среду. Фарадей, рисуя упругие деформации в эфире, не объяснял их наличием зарядов в проводниках. Напротив, эти деформации и есть самая сущность процесса, а явление зарядов на концах упругих силовых трубок — вторичный эффект»<sup>283</sup>.

Еще один опыт, проведенный Фарадеем, доказал реальность магнитных силовых линий и линий земного магнетизма. Круг из меди, являющейся немагнитным материалом, вращается, пересекая линии магнитной силы, и при этом дает индукционный ток. Тот же круг, вращаясь при отсутствии магнитного поля, но пересекая магнитные линии земного магнетизма, также дает индукционный ток. Появление индукционного тока Фарадей объясняет тем, что в обоих случаях происходит пересечение линий магнитной силы, что еще раз свидетельствует об их реальном существовании (рис. 65).

Возможность воздействовать на электрические и магнитные линии, пересекая их, меняя различные среды на их пути, поднося к ним маленькие магнитные стрелки, является убедительным доказательством реального существования таких линий силы. При этом линии магнитной силы, действующей по кривым линиям обнаруживаются

---

<sup>283</sup> Кузнецов Б.Г. Электродинамика Максвелла, ее истоки, развитие и историческое значение (к 75-летию со дня смерти Максвелла) // Труды Института истории естествознания и техники, т. 5. М.: АН СССР, 1955, с. 141.



**Рис. 65.** Фарадей сделал предположение, что кружок немагнитного металла под воздействием магнита во время вращения обегается индуктивными токами, которые оказывают воздействие на магнитную стрелку и влечут ее за магнитом<sup>284</sup>

как внутри, так и вне магнита и являются замкнутыми кривыми, проходящими часть своего пути через магнит (входящими и выходящими через полюса магнита). Фарадей вполне сознательно ставит вопрос о физическом существовании таких линий и подтверждает их существование целой серией экспериментов, делая однозначный вывод: «они действительно имеют явно отличное физическое существование»<sup>285</sup>. Таким образом, он не только разработал поточные (физические) схемы электродинамической теории, но и поставил их в соответствие плоскости структурных схем эксперимента.

Кроме того, именно разработанные Фарадеем поточные схемы позволили Максвеллу развить соответствующий им математический аппарат (т. е. функциональные схемы). По мнению Максвелла, в физических воззрениях Фарадея заключена особая математическая схема, выявив которую, Максвелл и смог установить возможность использования в электродинамике математического аппарата механики сплошных сред. Фарадей, по свидетельству Максвелла, «сообщил этой концепции силовых линий ясность и точность, далеко оставляющие за собой ясность и точность, каковые математикам удалось сообщить своим формулам»<sup>286</sup>. Однако разработку математического аппарата новой естественной науки — электродинамики и строгое соотнесение математических (функциональных) и физических (поточных) теоретических схем осуществил Максвелл.

<sup>284</sup> Абрамов А. Фарадей. СПб., 1892, с. 38.

<sup>285</sup> 50 лет радио. Вып. 1. Из предыстории радио: Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: Мысль, 1948, с. 60.

<sup>286</sup> Максвелл Д.К. Указ. соч., с. 58.

**Максвелл — перенесение и конструктивное введение в теорию электромагнитного поля математической схемы из механики сплошных сред и установление ее соответствия с поточными схемами (Фарадевыми электромагнитными линиями силы)**

Одно из главных направлений деятельности Максвелла — построение адекватного математического аппарата для единого описания и объяснения электрических и магнитных явлений. При этом он использовал преимущественно два слоя схем — функциональные и поточные. Воспринятая им в качестве исходной теоретическая схема электромагнитных взаимодействий Фарадея — электрические и магнитные линии силы — позволила ему использовать математический аппарат гидродинамики, представив силовые линии в виде незамкнутых трубок с идеальной несжимаемой жидкостью. Максвелл ввел также целый ряд таких понятий (ток смещения, ток проводимости и др.), имеющих точно определенный математический смысл.

Поскольку «Фарадей с математической точностью развил целую теорию электромагнетизма языком, свободным от математических вычислений»<sup>287</sup>, перед Максвеллом со всей очевидностью возникла задача разработки для этих фарадеевых представлений адекватного математического аппарата, построения развернутого слоя функциональных (математических) схем электродинамической теории, основанной на принципе близкодействия. «По характеру мышления Максвелл был геометром, поэтому ему была близка геометрическая модель Фарадея, который оперировал с электрическими и магнитными силовыми линиями. В работах В. Томсона и Гельмгольца получила завершение гидродинамическая модель трубок. Между этими двумя моделями Максвелл усматривал аналогию. Следуя, с другой стороны, по пути Ома, использующего гидродинамические образы при установлении законов тока, Максвелл перенес эти образы в свое учение об электромагнетизме»<sup>288</sup>. Рассуждая о соотношении математики и физики, Максвелл позднее обосновывал возможность и необходимость использования такого рода аналогий для трансляции идей и методов из одной отрасли науки в другую. Именно фарадеевы линии силы натолкнули Максвелла на мысль использовать гидродинамические аналогии и в электродинамике, чтобы транслировать математический аппарат, развитый в механике сплошных сред, для решения электродинамических задач.

Максвелл стал рассматривать силовые линии не просто как геометрические линии, а как трубки переменного сечения, заполненные несжимаемой жидкостью, причем положительный заряд представляет собой источник, а отрицательный — сток этой жидкости. Максвелл рассуждал следующим образом: «при внимательном изучении законов упругих тел и движениях вязких жидкостей я надеюсь найти метод

<sup>287</sup> Максвелл Д.К. Указ. соч., с. 59.

<sup>288</sup> Кляус Е.М. Указ. соч., с. 354.

построения механической концепции этого электротонического состояния ...»<sup>289</sup>. Модель трубчатых вихрей позволяет ему интерпретировать электрический ток как поступательное движение частиц, расположенных между соседними вихрями. «В этой модели движение вихрей с постоянной скоростью сопоставлялось с постоянным магнитным полем, движение вихрей с ускорением — с переменным магнитным полем; телесный элемент — с дифференциально малой порцией электричества (заряда), перемещение телесного элемента — с током проводимости; тангенциальная сила, действующая на телесный элемент, соответствовала вектору электрической напряженности»<sup>290</sup>.

Максвелл заимствовал эту модель у Гельмгольца и В. Томсона. «На долю Гельмгольца выпало указать весьма замечательные свойства вихревого движения в однородной несжимаемой жидкости, лишенной всякой вязкости». Эта жидкость имеет по определению следующие свойства. «Во-первых, это — материальная субстанция. Ее движение непрерывно в пространстве и во времени, и если мы будем следить за движением некоторой ее части, то оказывается, что масса этой части остается неизменной. Эти свойства она разделяет со всякой материальной субстанцией. Во-вторых, она несжимаема. Форма данной части жидкости может изменяться, но ее объем остается неизменным; другими словами, плотность жидкости во время движения остается неизменной. Кроме того, жидкость однородна, т. е. плотность всех ее частей одинакова. Она также непрерывна, так что масса жидкости, содержащаяся внутри некоторой замкнутой поверхности, всегда в точности пропорциональна объему, содержащемуся внутри этой поверхности. Это тождественно утверждению, что жидкость не состоит из молекул. Наконец, это совершенная жидкость, или, другими словами, напряжение между какой-либо частью и смежной ей частью всегда нормально к отделяющей их поверхности, независимо от того, находится ли жидкость в покое или в движении».

Здесь дается типичное для любой естественнонаучной теории описание идеального (идеализированного), или абстрактного, объекта, который не существует в реальности, а является абстрагированием и идеализацией некоторых ее сторон, но который может быть поставлен в четкое соответствие реальным объектам природы. «Существует ли в действительности субстанция с такими свойствами, — рассуждает далее Максвелл, — это вопрос, который приходится рассматривать только тогда, когда мы захотим сделать практические приложения результатов математической теории. Свойства нашей совершенной жидкости ясно определены и согласуются друг с другом, и из математической теории мы можем вывести замечательные результаты, причем некоторые из них можно грубо проиллюстрировать при помощи жидкостей, которые отнюдь не совершенны в смысле отсутствия вязкости, как, например, воздух и вода».

---

<sup>289</sup> Максвелл Д. К. Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М.: Гостехтеориздат, 1954, с. 59.

<sup>290</sup> Степин В. С. Становление научной теории. Минск: Наука, 1976, с. 165.

Таким образом, трубки с идеальной жидкостью или вихревые линии представляют собой поточные (физические) теоретические схемы гидродинамики, с одной стороны, описываемые математическими формализмами (функциональными теоретическими схемами), а с другой, отображающие в идеализированной форме реальные гидродинамические процессы: «вихревая линия не есть просто математический символ, но имеет физическое существование, непрерывное во времени и в пространстве. ... Эти вихревые линии образуют трубчатую поверхность, называемую вихревой трубкой или вихревой нитью. Так как воображаемая жидкость течет по вихревым линиям без изменения плотности, то количество, протекающее в единицу времени через какое угодно сечение одной и той же вихревой трубки, должно быть одинаково. Следовательно, для всякого сечения вихревой трубки произведение площади сечения на среднюю скорость вращения одно и то же. Это количество называется напряжением вихревой трубки». Отсюда всего один шаг до отождествления этих вихревых трубок с электрическими и магнитными силовыми линиями, позволившего Максвеллу транслировать математический аппарат (с соответствующей его модификацией и адаптацией к новому эмпирическому материалу) из одной области научного исследования гидродинамических процессов в другую, использовав его для исследования гидродинамических процессов в природе. «Движение в некоторый момент каждой части жидкости, заключающей вихревые кольца, можно точным образом представить себе, вообразив, что некоторый электрический ток занимает место каждого вихревого кольца, причем сила тока пропорциональна напряжению кольца. Магнитная сила в некоторой точке пространства будет, следовательно, представлять по направлению и величине скорость жидкости в соответствующей точке жидкости»<sup>291</sup>. Это означает, что одной и той же функциональной (математической) теоретической схеме Максвелл поставил в соответствие две различных, но аналогичных поточных схемы (физических процессов).

Таким образом, Максвелл, осуществив соответствие гидродинамических и электродинамических процессов, задал правила соответствия между функциональными (математическими) и поточными (физическими) теоретическими схемами электродинамической теории. Введя ряд новых представлений и обобщений (например, понятие тока смещения), Максвелл освободил математические результаты от исходной механической модели и завершил построение динамической теории электромагнитного поля, сформулировав систему своих знаменитых уравнений электромагнитного поля. По утверждению Эйнштейна, Максвелл «показал, что все известное тогда о свете и электромагнитных явлениях может быть изложено с помощью его, ныне широко известной, двойной системы дифференциальных уравнений в частных производных, куда электрическое и магнитное поля входили как зависимые переменные. ... до Максвелла физическая реальность, поскольку она выражает явления в природе, мыслилась

---

<sup>291</sup> Максвелл Д.К. Атом, с. 146 –147, 149–150.

как материальные точки, изменения которых состоят только в движениях, регулируемых дифференциальными уравнениями в частных производных. После Максвелла физическая реальность мыслится выраженной необъяснимыми с механической точки зрения континуальными полями, подчиняющимися дифференциальным уравнениям в частных производных. Это изменение представления о реальности является наиболее глубоким и плодотворным из всех, которые знала физика после Ньютона»<sup>292</sup>.

*Герц — экспериментальное доказательство максвелловской электродинамики и волновой природы света, а также установление соответствия между функциональными (математическими), поточными (физическими) и структурными (экспериментальными) теоретическими схемами*

Основные достижения Генриха Герца<sup>293</sup> в развитии электродинамики сводятся к следующему. Во-первых, он систематизировал и обобщил теорию Максвелла, на ее основе сформулировал частные законы и решил с ее помощью некоторые частные задачи<sup>294</sup>. Во-вторых, обобщенную теоретическую схему оптических явлений (и соответствующие ей математические зависимости и эксперименты) он применил в электродинамике. В-третьих, он начал разработку в сфере теории концептуального аппарата и особых структурных схем для описания экспериментов, поставив одновременно в соответствие слой поточных (отображающих физические процессы — в данном случае распространение электромагнитных волн), функциональных (математических) и структурных (фиксирующих конструктивные особенности определенного класса экспериментальных ситуаций) теоретических схем. Но главная заслуга Герца — это виртуозное экспериментальное доказательство реального существования электромагнитных волн.

В университете г. Карлсруэ Герц пользовался экспериментальным оборудованием, доставшимся ему от его предшественника Фердинанда Брауна (также бывшего ранее студентом проф. Гельмгольца), разделившего в 1909 г. с Маркони Нобелевскую премию

<sup>292</sup> Эйнштейн А. Влияние Максвелла на развитие представлений о физической реальности. В кн.: Максвелл Джеймс Клерк. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 245, 246

<sup>293</sup> Григорьян А. Т., Вяльцев А. И. Генрих Герц. М.: Наука, 1968.

<sup>294</sup> Генрих Герц (1857–1894) не только изучал физику в Берлинском университете, но и получил незаконченное инженерное образование в Дрездене. Сначала он в течение года проходил практику в конструкторском бюро во Франкфурте-на-Майне; продолжая инженерное обучение в Мюнхене, Герц одновременно посещал лекции по естественным наукам и понял, что это его призвание. После завершения учебы в Берлинском университете в 1880 г. и трехлетней работы в Физическом институте этого университета в качестве ассистента Герц защищает диссертацию в университете г. Килия и работает там некоторое время преподавателем. Обе его диссертационные работы носили чисто теоретический характер. В 1885 г. он получает место профессора экспериментальной физики в университете г. Карлсруэ.

по физике за вклад в развитие радиотехники. Браун работал в г. Карлсруэ с 1882 по 1885 г. и развил программу обучения и исследования в области электротехники. Он ввел в лекционный курс теоретические аспекты электротехники и разработал лабораторный курс в этой области. Необходимо также отметить, что университет в г. Карлсруэ, основанный в качестве одной из первых технических школ в Германии, был в значительной степени ориентирован на развитие практической электротехники<sup>295</sup>. Герц же своей основной задачей считал развитие физической теории для объяснения электромагнитных явлений.

В то время существовали две конкурирующие исследовательские программы в данной области: Ампера, Неймана и Вебера, с одной стороны, и Фарадея — Максвелла, с другой стороны, — основанные соответственно на принципах дальнего действия и близкого действия. К моменту проведения своих знаменитых опытов в г. Карлсруэ Герц был хорошо знаком с обеими теориями, однако рассматривал в качестве первоначальной задачи подтверждение экспериментом теории Фарадея—Максвелла, не отдавая вначале предпочтения ни той, ни другой теории. Причем в Германии до публикации в 1870 г. знаменитой статьи «О теории электродинамики» Гельмгольца, учителя Герца, в которой автор пытался сформулировать компромиссную версию максвелловской теории, господствовали теории Вебера и Неймана, основанные на принципе дальнего действия. Эту особенность отмечает Макс Планк: «Значение опытов Герца для теории Максвелла окажется еще более важным, если учесть, что Герц с самого начала исходил вовсе не из того, чтобы утвердить теорию Максвелла. Насколько Герц был свободен от влияния теории Максвелла, яснее всего подтверждается тем фактом, что он долгое время в противоположность теории Максвелла полагал, что установил в своих опытах разницу в скорости распространения электрических волн в воздухе и по проводам. Лишь потом Герц выяснил, что эта разница была обусловлена помехами из-за находившихся поблизости проводников»<sup>296</sup>. Однако уже в 1884 г. в одной из своих работ, посвященных сравнительному анализу максвелловских основных уравнений электродинамики и основных уравнений конкурирующей электродинамической теории, Герц пишет: «Если необходим выбор между обычной системой электродинамики и максвелловской, то последняя безусловно имеет приоритет»<sup>297</sup>.

Гельмгольц еще в 1879 г. советует Герцу заняться работой, которая сможет претендовать на премию Прусской Академии наук, — с помощью экспериментов доказать наличие или отсутствие электромагнитного действия возникающей или исчезающей диэлектрической поляризации, предсказанной Максвеллом, или, другими словами,

---

<sup>295</sup> См.: *Heinrich Rudolf Hertz (1857–1894). A Collection of Articles and Addresses.* Ed. by Mulligan Josef F. N.Y. & L.: Garland Publishing, Inc., 1994, p. 26–27.

<sup>296</sup> Планк М. Джеймс Клерк Максвелл и его значение для теоретической физики в Германии. В кн.: Максвелл Джеймс Клерк. Статьи и речи. М.: Наука, 1968, с. 241.

<sup>297</sup> См.: *Heinrich Hertz: Festschr. Anlassl. d. Erforschung d. elektromagnet. Wellen vor 100 Jahren.* Berlin: Heinrich-Hertz-Institut, 1988, S. 38.



какую-либо связь между электромагнитными силами и диэлектрической поляризацией изоляторов. Однако первые опыты, проведенные Герцем с использованием колебаний от лейденской банки или открытого индукционного аппарата, не принесли желаемых результатов. Позже он находит иной путь для решения поставленной Гельмгольцем задачи.

Этому помогли эксперименты, проведенные им в 1886–1889 гг. с имеющимся в университете г. Карлсруэ экспериментальным оборудованием, т. е., другими словами, экспериментальная техника. Герц оценивает это как счастливый случай, поскольку сам был удивлен результатам своих опытов, и отмечает позже: «Я не верю, впрочем, что с помощью только одной теории было бы возможно продвинуться к этим явлениям»<sup>298</sup>. Однако, как и Галилей, сконструировавший телескоп, он сделал теоретический прорыв, поставив свои ставшие очень быстро классическими эксперименты по распространению электромагнитных волн, которые, с одной стороны, подтвердили теорию Фарадея – Максвелла, а с другой стороны, открыли возможность ее технического применения. Это техническое применение никак не планировалось и не предполагалось Герцем, однако эксперименты и теоретические выводы подчеркивали его очевидность, поэтому естественнонаучную теорию Герца можно одновременно считать теорией естественного (физического — электромагнитного) процесса и исходным пунктом теории нового вида техники — техники передачи электромагнитных волн на расстоянии без проводов. Меньше десятилетия разделяет опыты Герца и первые успешные результаты их практического использования для передачи сообщений на расстояние без проводов, полученные Поповым и Маркони. Именно в этой двойственности экспериментального естествознания и заложена потенциальная возможность возникновения технической науки.

Впрочем, потребовалось еще почти столетия, чтобы новая отрасль техники и промышленность, возникшая в результате открытия Герца и изобретения телеграфии без проводов (радио), породила и новую техническую науку — теоретическую радиотехнику, которая вначале развивалась как естественнонаучная дисциплина — физика электромагнитных колебаний — и была связана с совершенствованием экспериментального оборудования, т. е. техника науки постепенно трансформировалась в технику повседневной жизни.

Используя математический аппарат, Герц сводил общие случаи к частным, но экспериментально доказуемым, отвлекаясь от практически несущественных ограничений. «В общем случае, — пишет он, — получаются очень сложные формулы, которые не позволяют составить наглядного представления о распространении сил. Но для отдельных частных случаев результаты относительно просты». Герц отдает предпочтение этим простым и практически применимым случаям и не рассматривает случаи, «которые не имеют никакого практического

<sup>298</sup> См.: Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft von Dr. Heinrich Hertz. Leipzig: Jochan Ambrosius Barth, 1872, S. 2.

значения»<sup>299</sup>. Это позволяет ему сделать важные выводы, в частности о разных законах изменения электрической силы вблизи и вдали от вибратора, и решать конкретные задачи (функционирование теории), например расчет простейшего излучателя электромагнитных волн — диполя. Такой подход станет затем весьма важным средством решения инженерных задач в радиотехнической теории. Цель анализа радиотехнических устройств — подробное описание их не во всех возможных аспектах, а лишь в определенных, значимых для решения данной инженерной задачи. «Радиотехнику в особенности необходимо научиться правильно пользоваться теорией, не осложняя дело излишней точностью и не упуская из вида ничего существенного»<sup>300</sup>.

Применяемые Герцем теоретические понятия имеют четкое математическое выражение (поляризация, смещение, количество электричества, сила тока, период, амплитуда, длина волны и т. д.). Однако он постоянно учитывает и соотношенность математического описания с опытом. Так, в основных уравнениях электродинамики он перешел от использования потенциалов, используемых для теоретического описания, к напряжениям, которые экспериментально измеримы<sup>301</sup>. Производя же опыты, он постоянно применяет математические расчеты, например периода колебаний по формуле Томсона.

Использование для описания электродинамических процессов обобщенной онтологической (теоретической) схемы оптики, в достаточной мере разработанной к этому времени в трудах Юнга и Френеля, и акустики позволило Герцу не только применить ряд таких понятий, как угол падения, показатель преломления, фокальная линия и др., но и осуществить над электромагнитными колебаниями ряд классических оптических опытов, например по регистрации прямолинейного распространения, интерференции и преломления электромагнитных волн. Эти эксперименты подтвердили адекватность выбранной Герцем теоретической схемы и доказали ее универсальность для разных типов физических явлений.

Например, после очередного экспериментального исследования стоячей волны Герц пишет, что вопреки ожиданию «узловые точки существуют на самом деле». Они уже не рассматриваются им просто как математические абстракции. Герц объективирует (относительно электродинамических процессов) изображение стоячей волны, распространенное в оптике и акустике<sup>302</sup>. При этом он сознательно использует аналогию. «В оптике аналогией нашему опыту является опыт Ллойда с зеркалами Френеля. В оптике и акустике эти опыты используются как доказательства волновой природы света и звука, поэтому описанные здесь явления следует рассматривать как доказательства волнового распространения индуктивного действия электромагнитных колебаний»<sup>303</sup>.

---

<sup>299</sup> Герц Г. О весьма быстрых электрических колебаниях. В кн.: 50 лет волн Герца. М.-Л.: Мысль, 1938, с. 98, 117.

<sup>300</sup> Бонч-Бруевич М.А. Основы радиотехники. М.: Связьиздат, 1936, с. 9.

<sup>301</sup> Григорьян А.Т., Вяльцев А.И. Генрих Герц, с. 221.

<sup>302</sup> Герц Г. Указ. соч., с. 66.

<sup>303</sup> Там же, с. 89.

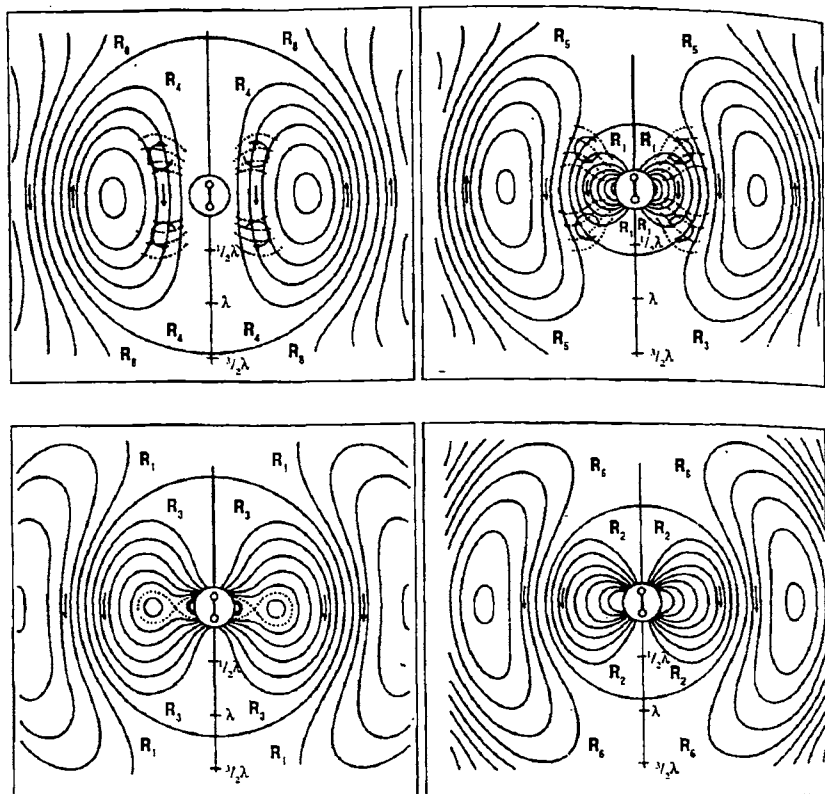
Взятая из оптики и акустики, теоретическая схема естественного процесса распространения электромагнитных волн (Герц называет ее «картиной поля», «картиной электрических волн») позволила ему транслировать и соответствующую математическую схему — геометрическое изображение стоячей волны, которое дает возможность четко определять узловые точки, пучности, период, фазу и длину волны. В соответствии с этой схемой Герц производит необходимые экспериментальные измерения, например фазы и амплитуды электромагнитных колебаний при отражении, показателя преломления асфальтовой призмы и др.

Герц, так же, как Максвелл, использовал представление Фарадея об электрических и магнитных силовых линиях, детализировав его. Например, он приводит изображения так называемого процесса «отшнуровывания» силовых линий от вибратора, ставшего затем очень важным для радиотехники элементом радиопередающего устройства, анализируя распределение сил для различных моментов времени. Он называет такое изображение «наглядной картиной распределения силовых линий», подчеркивая, что «основой образования волны являются не только процессы в месте ее возникновения, но также состояния окружающего пространства, поскольку последнее с точки зрения нашей теории и является носителем энергии». «Именно силовые линии, которые более всего удалены от источника, при своем исчезновении проявляют тенденцию сжиматься и испытывают искривление, в результате которого от каждой из внешних силовых линий «отшнуровывается» замкнутая на себя силовая линия, которая начинает самостоятельно двигаться в пространстве, в то время как остаток силовой линии возвращается в вибратор. Таким образом, число линий, возвращающихся в вибратор, равно числу вышедших из него линий, но их энергия уменьшается на энергию, соответствующую энергии «отшнуровавшихся» частей. Эта потеря энергии соответствует излучению в пространство. Эти силовые линии все более и более переходят в чисто поперечную волну и в виде таковой теряются в пространстве»<sup>304</sup> (рис. 66).

Герц строит особые структурные теоретические схемы и соответствующий им концептуальный аппарат (вводя такие понятия, например, как вибратор и резонатор). Скрупулезное описание конструкции опытного оборудования (например, материала, из которого изготовлены зеркала, их формы и размеров и т. д.) он сочетает с обобщенным теоретическим описанием экспериментально-измерительных ситуаций в виде структурных схем (рис. 67). Последние являются прообразом будущих электрических схем радиоприемного и радиопередающего устройств и входят в состав физической теории. Скажем, при исследовании процесса резонанса Герц изменяет последовательно разные параметры первичной и вторичной цепей, включающих индукционную катушку, разрядник, конденсатор и т. д.

---

<sup>304</sup> Герц Г. Силы электрических колебаний, рассматриваемые с точки зрения теории Максвелла. В кн.: 50 лет волн Герца. М.-Л.: Мысль, 1938, с. 96, 103, 104, 105).



**Рис. 66. Распределение силовых линий в процессе их «отшнуровывания» от вибратора**

(Рисунок взят из книги: *Friedenburg H. Die Karlsruher Experimente von Heinrich Hertz. In: Friedericiana. Zeitschrift der Universität Karlsruhe. Heft 41. Karlsruhe, 1988*)

При этом измерялись длина искры и расстояние между цепями, а на основе этих измерений вычерчивались резонансные кривые, проводились соответствующие расчеты.

Совершенство экспериментальное оборудование, Герц действует, по сути дела, как инженер, однако не предусматривает какое-либо техническое применение своих экспериментальных устройств. «Опыты Герца пока кабинетные: но что из них разовьется дальше и не представляют ли они зародыш новых разделов электротехники, этого решить в настоящее время пока невозможно», — писал в 1890 г. О.Д. Хвольсон<sup>305</sup>. И математический аппарат, и опыты Герц рассматривает лишь

<sup>305</sup> Хвольсон О.Д. Опыты Герца и их значение. В кн.: 50 лет радио. Вып. 1. Из предыстории радио: Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: АН СССР, 1948, с. 415.

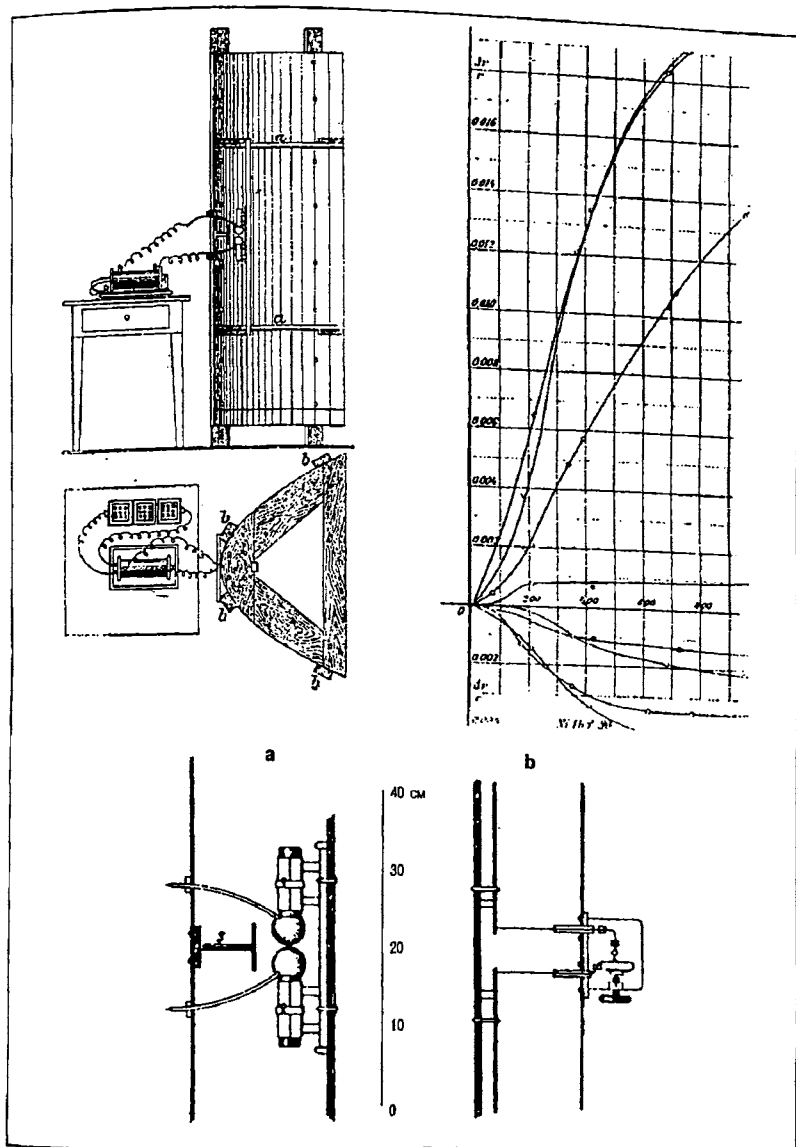


Рис. 67. Экспериментальное оборудование, приводимое Герцем в его работах, в виде натурального изображения и в виде структурных схем с резонансными кривыми

(Рисунок взят из книги: Friedenburg H. Die Karlsruher Experimente von Heinrich Hertz. In: Friedericiana. Zeitschrift der Universität Karlsruhe. Heft 41. Karlsruhe, 1988)

как средство предсказания и объяснения физического процесса — распространения электромагнитных волн в пространстве. Однако именно благодаря его работам электродинамика получила тот вид, который позволил отпочковаться от нее новой сфере инженерной деятельности и соответствующей ей технической теории<sup>306</sup>. Впрочем, следует отметить, что созданный Герцем экспериментальный базис был необходимым, но еще недостаточным условием для этого.

С этой точки зрения весьма интересным является сравнение работ Герца и английского ученого и инженера Оливера Лоджа, которые работали в одном направлении и преследовали идентичные научные цели. Но у них наблюдаются и серьезные различия в используемой экспериментальной технике. Как уже было сказано, Герц унаследовал свою достаточно хорошо оснащенную лабораторию в университете г. Карлсруэ от Фердинанда Брауна. Лодж же, получив в 1881 г. место профессора экспериментальной физики в университетском колледже Ливерпуля, вынужден был оснащать свою лабораторию сам. При этом он стремился создать учебную лабораторию, в которой студенты учились бы проводить эксперименты.

Герц, отказавшись от экспериментирования с длинными проводниками, начал исследовать непосредственное излучение электромагнитных волн от антенны. Лодж экспериментировал преимущественно с длинными проводниками для исследования генерируемых им электромагнитных волн. Он работал, таким образом, с закрытой цепью, изучая электрические колебания, что способствовало выявлению и изучению феномена электрического резонанса. Герц же работал с открытой цепью, в которой колебания быстро прекращаются, поскольку теряются в пространстве. Поэтому феномен резонанса, который играет в исследованиях Лоджа центральную роль, для Герца имеет лишь случайное значение. Таким образом, Герц изобрел техническую базу для искровой телеграфии, а Лодж открыл технику регулирования. Для обоих это был побочный продукт их основной научной деятельности.

Герц создал систему лабораторного оборудования, используемого для генерации, излучения и обнаружения радиоволн, хотя преследовал цель экспериментальной проверки электродинамической теории Максвелла. Впрочем, экспериментальная проверка максвелловских уравнений была проведена и Лоджем почти одновременно с Герцем. Более уточненное и чувствительное экспериментальное оборудование, разработанное Лоджем, уже могло быть использовано в качестве средства передачи сообщений на расстояние, хотя он и занимался главным образом демонстрацией экспериментов на своих публичных лекциях, во время которых это оборудование рассматривалось скорее как курьез, интригующий публику. В 1894 г., когда он продемонстрировал радиосвязь, у него не возникало даже мысли о коммерческой разработке своих научных и технических идей, хотя в области разработки более уточненного экспериментального оборудования Лодж в гораздо большей степени, чем Герц, стремившийся лишь доказать волновой характер электромагнитного излучения, работал как инженер, стремясь, чтобы с помощью этого оборудования «некоторые догадки гения могли быть проверены и сделаны очевидными для рядового человека»<sup>307</sup>.

<sup>306</sup> См.: 50 лет волн Герца. М.-Л.: Мысль, 1938; Friedenburg H. Die Karlsruhe Experimente von Heinrich Hertz. In: *Fridericiania. Zeitschrift der Universität Karlsruhe*. Heft 41. Karlsruhe, 1988, S. 39–57; Heinrich Hertz. *Untersuchungen über die Ausbreitung der elektrischen Kraft*. Leipzig: Jochann Ambrosius Barth, 1892

<sup>307</sup> *Aitken Y. G. J. Syntony and Spark the Origin of Radio*. N.Y.: John Wiley & Sons, 1976; 50 лет радио. Вып. 1. Из предыстории радио: Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: АН СССР, 1948, с. 443.

*Электродинамика развивалась в двух основных направлениях:*

- дальнейшее обобщение и систематизация естественнонаучной теории после Герца;
- совершенствование структурных схем эксперимента, стимулировавшее появление беспроводной телеграфии (радиотехники).

Итак, исследованиями Герца было доказано, что электромагнитные волны могут распространяться (подобно световым) в непроводящей среде (эфире), что они имеют ту же физическую природу, как и оптические явления; что так же, как и свет, они распространяются с конечной скоростью; что в свободном пространстве интенсивность электромагнитных колебаний убывает обратно пропорционально первой степени расстояния от вибратора (а не третьей степени, как это происходит вблизи него); что при определенной частоте колебаний электрическая цепь может излучать в пространство электромагнитные волны (путем «отшнуровывания» от вибратора электрических силовых линий).

Этих основных теоретических положений было вполне достаточно, чтобы начать их сознательное использование для изобретения практических технических устройств. Однако аппаратура была еще недостаточно совершенной.

Поэтому после публикации результатов, полученных Герцем, начались исследования с целью усовершенствовать экспериментальное оборудование и разработать новые схемы экспериментально-измерительных ситуаций, позволяющих найти более простые и надежные способы получения и регистрации электромагнитных волн. П.Н. Лебедев в своей работе 1895 г. «О двойном преломлении лучей электрической силы» писал: «После того как Герц дал нам методы экспериментально проверить следствия электромагнитной теории света естественно появилась потребность делать его опыты в небольшом масштабе, более удобном для научных изысканий»<sup>308</sup>. Эти работы фактически еще не выходили за пределы экспериментаторства деятельности в естественной науке, но вели к техническому использованию электродинамики. Именно экспериментаторская деятельность и сделала возможным появление радиопередающего и радиоприемного устройств.

Недостатками вибратора Герца были быстрое прекращение колебаний и быстрое обгорание контактов. Первый недостаток был устранен введением трех искровых промежутков вместо одного, второй — помещением осциллятора в жидкость (Риги, например, использовал для этого вазелин). Идея поместить центральные сферы, соединяемые разрядом с внешними сферами, в масляную жидкость была правильной, поскольку это создавало возможность получать вереницу искр достаточно высокой интенсивности и регулярно. Это позволило увеличить длину искры без необходимости отполировывать каждый раз

---

<sup>308</sup> 50 лет радио. Вып. 1. Из предыстории радио: Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: Мысль, 1948, с. 398.

шарики и легко изменять период колебаний, сближая или удаляя обкладки конденсатора, включенного в первичный контур, или сами шарики. Одновременное включение в первичный контур конденсатора устранило вредные электростатические помехи, нежелательные при некоторых опытах. Кроме того, размеры аппаратуры Герца были значительно уменьшены, что было важно для ее практического использования. В результате, чтобы получилось первое радиопередающее устройство, достаточно было включить в первичную цепь индукционной катушки ключ Морзе, что и сделал Маркони (рис. 68).

Недостатком вибратора Герца была также малая величина получаемой искры, что затрудняло ее регистрацию. При генерировании электромагнитных колебаний начали использовать длину волны около 10 см, т. е. намного выше, чем когда-либо получал сам Герц. Для обнаружения, детектирования такой высокой частоты простой круговой резонатор Герца уже не годился. Кроме того, в этом случае искру приходилось наблюдать в микроскоп, поскольку она была едва различима невооруженным глазом. Поисками более надежного способа наблюдения искр занимались сразу многие исследователи. В качестве регистратора они использовали газоразрядную трубку, электроскоп, термоэлемент и др. Наиболее перспективным оказался когерер — прибор для обнаружения электрических колебаний, действие которого основывалось на изменении сопротивления «плохого контакта» между алюминиевой пластинкой и железной проволокой под действием электрических колебаний в цепи, частью которой он являлся<sup>309</sup>.

В 1890—1891 г. Эдуард Бранли опубликовал результаты своих первых экспериментов с когерером (рис. 69). В 1894 г. при помощи когерера, который существенно отличался от когерера Бранли, Оливер Лодж продемонстрировал отражение, преломление и поляризацию электромагнитных волн. Когерер Бранли представлял собой стеклянную трубку, наполненную под атмосферным давлением длинными металлическими опилками<sup>310</sup>.

---

<sup>309</sup> В заметке из журнала «Nature» за 1894 г. написано, что «некий владелец гальванопластической мастерской в Филадельфии обнаружил, что серебрение не может проводиться во время грозы и что если пластинки оставались включенными до следующего утра, а в течение ночи случилась гроза, то работа неизбежно оказывалась испорченной. Соединение батареи с ванной осуществлялось при помощи ряда плохих контактов, которые при обычных условиях обеспечивали высокое сопротивление. При этих условиях удар молнии должен был вызвать сцепление (*coherence* — отсюда название «когерер») плохо контактирующих поверхностей и повысить проводимость настолько, что получается избыточный ток ... Этот случай наводит на мысль о возможности приложения остроумного прибора, изобретенного доктором Лоджем, для исследования волн, распространяющихся во время грозы, о которых мы пока ничего не знаем» (50 лет радио. Вып. 1. Из предыстории радио: Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: АН СССР, 1948, с. 358).

<sup>310</sup> Э. Бранли в своей работе «Изменение проводимости под различными электрическими воздействиями», опубликованной в 1890 г., отмечает, что сопротивление металлических опилок «резко уменьшается — что видно по отклонению гальванометра — если вблизи когерера произвести один или несколько электрических разрядов. Действие уменьшается при увеличении расстояния...



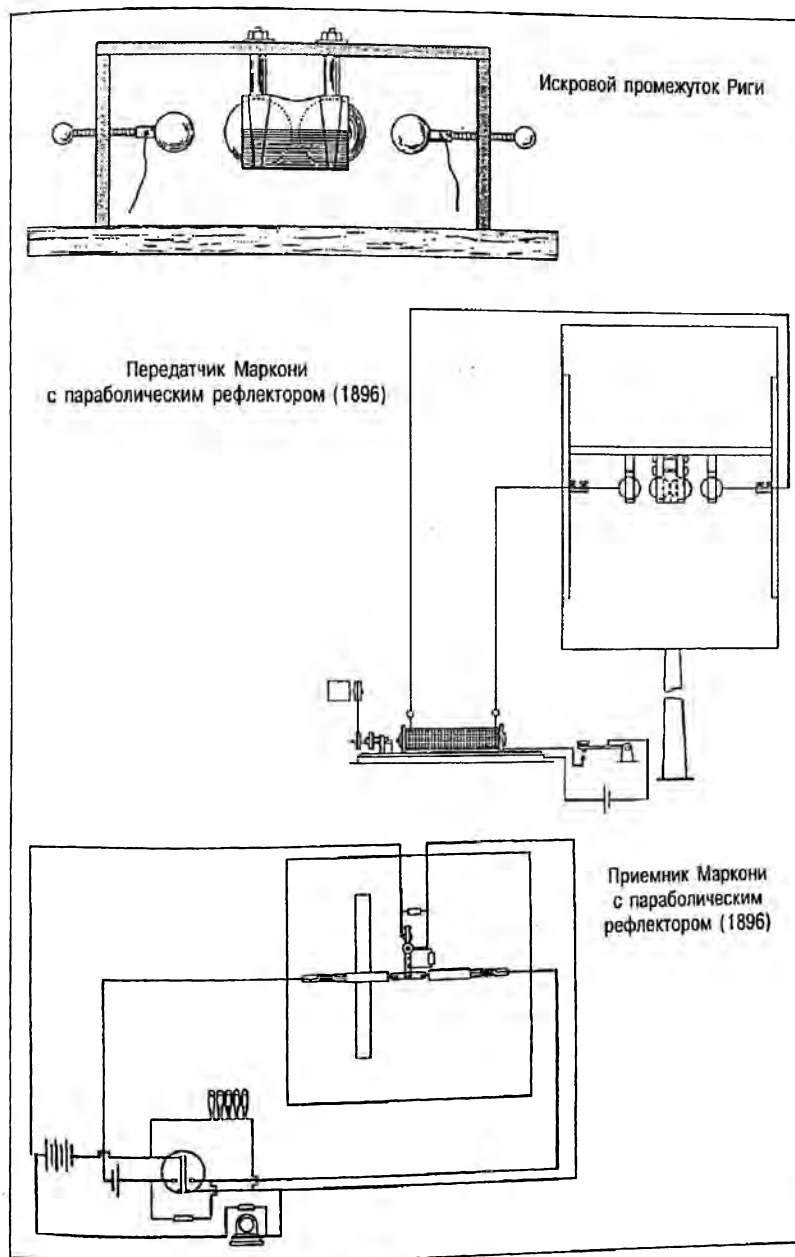


Рис. 68.

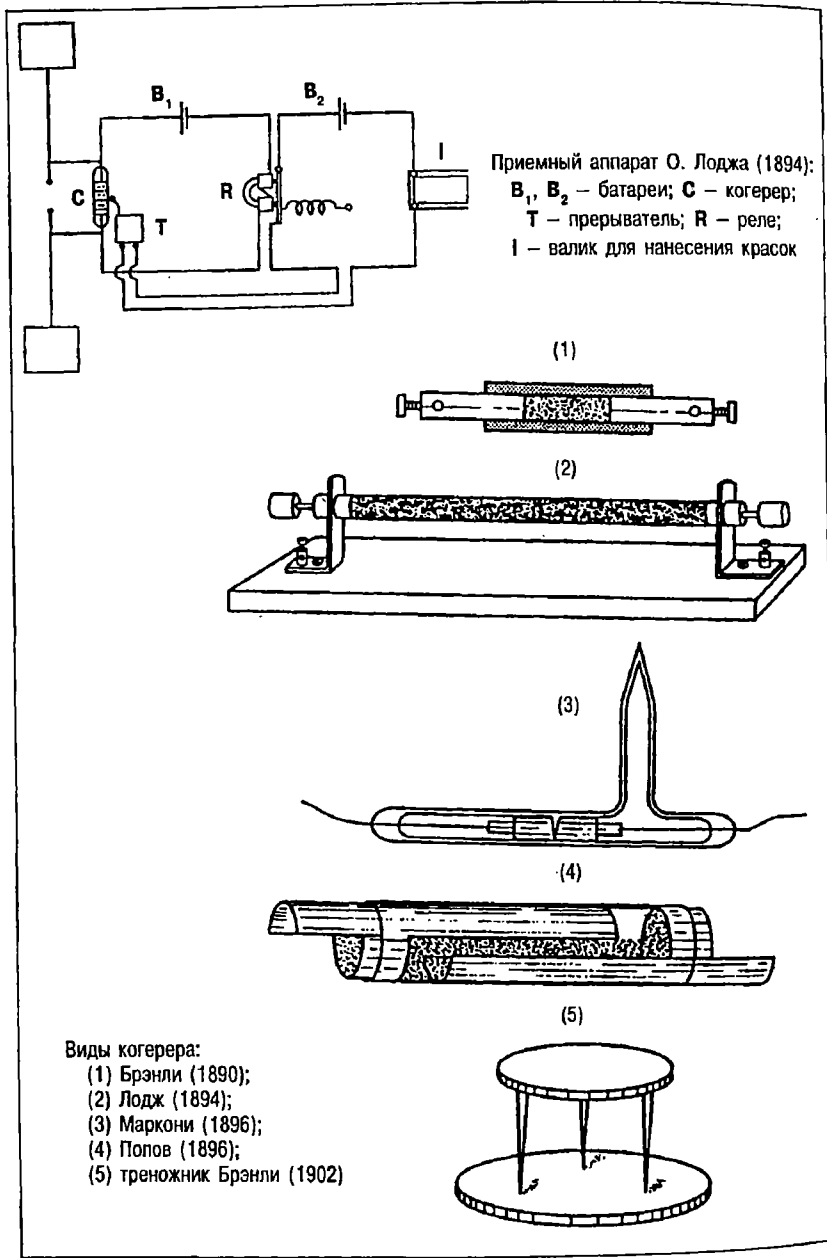


Рис. 69.

Когерер, который использовал Маркони вслед за Лоджем, обладал более высокой чувствительностью в связи с уменьшением пространства между металлическими пластинами и мелкими опилками. Для создания внутри стеклянной трубки вакуума она предварительно (до наполнения опилками) нагревалась. Принцип действия прибора основывается на том, что действие электрических зарядов резко уменьшает сопротивление опилок.

В работе «Творение Герца», опубликованной в 1894 г., Лодж следующим образом описывает свой когерер: «В 1889 году я сделал наблюдение, что 2 шарика, расположенные достаточно близко один от другого, но еще настолько раздвинутые, чтобы выдержать напряжение, скопившееся на электроскопе, при пропускании между ними искры фактически приходят в соприкосновение, причем проводят ток прибор, который я назвал когерером, удивительно чувствителен, как детектор герцевских волн. Он отличается от настоящего разрядника тем, что в нем изоляционная прослойка пробивается не только гораздо легче но и менее внезапно, более постепенным образом. Трубочка, наполненная опилками, которая представляет собой последовательность плохих контактов, действует приблизительно так же ... Работать с ней гораздо легче, кроме того ... она гораздо более пригодна для получения количественных результатов. Если трубочка наполнена более грубыми опилками то она приближается к единичному когереру (контакту), если же опилки более тонки, то чувствительность трубочки приобретает более широкий диапазон изменений. В обоих случаях эти приемники воспроизводят только внезапные скачки тока, плавные синусоидальные колебания на них не действуют. При подготовке приемника или же ухудшении его работы сильное встряхивание трубочки с опилками оказывается очень полезным. ... опилки при помощи постукивания возвращаются в прежнее состояние ...»<sup>311</sup>.

Для восстановления когерера автоматический встряхиватель опилок, которыми он начинен, был сначала включен в цепь когерера, а затем во вторичную цепь с более мощным источником энергии. Именно таким образом А.С. Попов создал первое радиоприемное устройство, предназначавшееся первоначально для детектирования атмосферного электричества, а затем и для регистрации сигналов и сообщений<sup>312</sup>.

Попов выбрал для своего когерера такую форму, «чтобы иметь возможное постоянство чувствительности». Для этого трубка с опилками должна была располагаться горизонтально, а «лучшее действие получается в том случае, если трубка наполнена не более чем наполовину» и если используются железный порошок и платиновые пластины в качестве контактов. Он также поставил перед собой задачу, «чтобы связь между опилками, вызванная электрическим колебанием, разрушалась немедленно автоматиче-

---

Бранли экспериментирует с различного рода металлическими опилками — железными, алюминиевыми, медными, кадмиевыми, цинковыми и др., насыпанными в трубочку из стекла или эбонита и заключенными между двумя металлическими стержнями. Иногда опилки смешивались с изолирующей жидкостью. В результате опытов Бранли заметил также, что «в трубочках с опилками изменения сопротивления можно почти полностью уничтожить особенно слабыми отрывными ударами по дощечке, которая поддерживает трубку» (там же, с. 353, 355).

<sup>311</sup> 50 лет радио. Вып. 1. Из предыстории радио: Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: Мысль, 1948, с. 434–437.

<sup>312</sup> Попов А. С. в своей работе 1896 г. «Прибор для обнаружения и регистрации электрических колебаний» пишет: «В результате я пришел к устройству прибора, служащего для объективных наблюдений электрических колебаний, пригодного как для лекционных целей, так и для регистрации электрических пертурбаций, происходящих в атмосфере» (там же, с. 449).

чески». Для этой цели Попов использовал реле и обыкновенный звонок, «как для объективного обнаружения действия электрического колебания на опилки, так и для разрушения проводимости опилок»<sup>313</sup>. (Конструкция радиоприемника А.С. Попова приведена на рис. 70.)

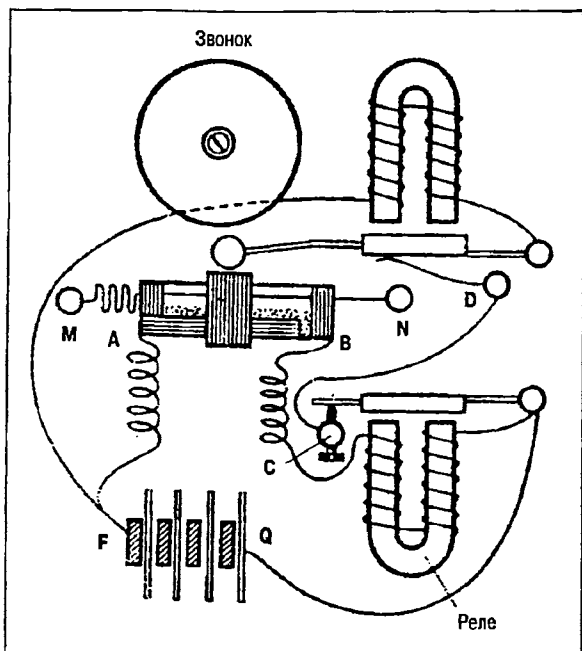


Рис. 70. Схема первого радиоприемника А.С. Попова (1895)

Маркони, который был не ученым, а творческим технологом и, несомненно, удачливым бизнесменом, присоединив к полученным передатчику и приемнику открытую антенну, создал технологичную конструкцию.

Для производства и продвижения ее на рынок он основал в 1897 г. компанию Wireless Telegraphy and Signal, положившую начало трансферу этой новой техники в хозяйственную сферу, где она могла расти и развиваться, и новой отрасли промышленности<sup>314</sup>. Система Маркони фактически не содержала в себе ничего нового:

<sup>313</sup> 50 лет радио. Вып. 1. Из предыстории радио: Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: Мысль, 1948, с. 451, 453. Попов первым разработал практически применимую антенну и послал сигнал на расстояние; первая посланная им в 1896 г. на расстояние 250 метров «беспроволочная» телеграмма содержала слова «Генрих Герц». Одновременно Маркони получает первый в истории радио патент и также посылает сигнал с берега на итальянский военный корабль (см.: Hertz Heinrich Rudolf (1857–1894). A Collection of Articles and Addresses. Ed. by Josef F. Mulligan. N.Y. & L.: Garland Publishing, Inc., 1994, p. 40–41).

<sup>314</sup> Aitken H. G. J. Syntony and Spark the Origin of Radio. N.Y.: John Wiley & Sons, 1976.

для передатчика он использовал усовершенствованный Риги вибратор Герца; приемник, по существу, был разработан Лоджем, а общую компоновку схемы предложил Попов. «Для «декогерирования» Маркони применяет маленький молоточек, который приводится в быстрые колебания при помощи местного источника тока, и, весьма эффектно постукивая по стеклянной трубке, производит при этом звук, позволяющий легко разбирать знаки Морзе. Декогерированный ток может быть одновременно применен для записи знаков Морзе на бумагу»<sup>315</sup>. Казалось бы, незначительные усовершенствования, осуществленные Маркони, позволили создать экономичную, технологичную и удобную для эксплуатации конструкцию. Маркони сумел «искусно сочетать самые благоприятные приспособления и первый получил результаты, имеющие действительно практическое значение»<sup>316</sup>. Речь идет прежде всего о конструкторской разработке уже имевшегося изобретения и организации промышленного производства радиоаппаратуры.

Таким образом, после Герца электродинамика развивалась в двух основных направлениях — дальнейшее обобщение и систематизация физической теории и совершенствование структурных схем эксперимента, стимулировавшее появление радиотехники. Второе направление носило по-существу инженерный характер, хотя и было первоначально ориентировано на решение сугубо исследовательских задач, т. е. на создание новых конструктивных элементов, разработку более эффективных и экономичных схем проведения экспериментов, устранение побочных влияний и т. д. Это второе направление и привело, в сущности, к становлению новой технической теории — теоретической радиотехники.

**Формирование теоретических основ радиотехники как новой технической теории:**

развитие и конкретизация «универсальной» (фундаментальной) теоретической схемы электромагнитных взаимодействий путем заполнения диапазонов практически используемых электромагнитных волн (радиоволн) с одновременным развитием методов исследования их физических свойств;

разработка специфической обобщенной теоретической схемы радиотехники на базе изучения конструкций радиотехнических устройств, средств их анализа и синтеза.

В первые же годы после изобретения радио начинается бурное развитие радиотехники. Эксперимент перерастает в отрасль промышленности, а инженерная деятельность становится главным стимулом теоретических изысканий. Эта деятельность была направлена на создание различных конструктивных схем радиотехнических устройств и постепенно становится ведущей в новой технической теории; в электродинамике она носила лишь вспомогательный характер. Основное внимание многочисленных изобретателей того времени

<sup>315</sup> См. статью 1897 г. Прис В.Г. «Передача сигналов на расстояние без проводов», опубликованную в сборнике: 50 лет радио. Вып. 1. Из предыстории радио: Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: АН СССР, 1948, с. 463.

<sup>316</sup> Пуанкарэ М. Эволюция современной физики. СПб.: Знание, 1910, с.129.

концентрируется на совершенствовании конструктивных элементов (кристаллических детекторов, трансформаторов и машин высокой частоты, катодных ламп, прерывателей, рамочной антенны и др.) и схем (дуговых генераторов, передатчиков с ударным возбуждением, системы со слабозатухающими колебаниями, замкнутого колебательного контура и др.) радиотехнических устройств (увеличение их мощности, дальности действия, удобства эксплуатации, экономичности, освоение новых диапазонов электромагнитных волн для осуществления радиопередачи и радиоприема)<sup>317</sup>.

Каждому изобретению сопутствовали определенные теоретические и экспериментальные исследования.

Например, для создания катодного вентиля (двухэлектродной лампы) был использован эффект Эдисона, установившего в 1884 г., что «если внутрь угольной лампочки накаливания впасть металлический стерженек и соединить его с концом угольной нити, то при горении лампы мы обнаружим слабый ток»<sup>318</sup>. Однако для технического применения этого эффекта потребовались дополнительные исследования. Ли де Форест установил, что раскаленное тело может функционировать как излучатель. Он начал разогревать не два электрода, а один, расположив против него холодный анод в виде пластинки. Флеминг использовал полученный «пустотный клапан» в качестве детектора в радиоприемном устройстве. Точно так же открытое ранее свойство двух соприкасающихся кристаллов пропускать ток в одном направлении послужило основой для изобретения кристаллического детектора. После ряда специальных исследований Браун и Пиккар нашли подходящие пары для кристаллических детекторов.

В результате бурной изобретательской деятельности диапазон конструктивных элементов радиотехнических схем существенно расширился. Одновременно заводы начали конструировать и постепенно выпускать удобные, выгодные и надежные катушки самоиндукции, конденсаторы, измерительные инструменты и т. д., а также осваивать производство новых многочисленных радиодеталей. Поэтому сфера радиотехники смещается в область исследования и развития различных конструктивных схем радиотехнических устройств (например, схема с заземленной сеткой, регенеративный и суперрегенеративный приемники, супергетеродин, рефлексивные схемы и др.). Именно с этого времени можно говорить о формировании собственно технической теории.

Формирование новых теоретических схем радиотехники идет по двум основным направлениям: во-первых, развитие и конкретизация «универсальной» теоретической схемы электромагнитных взаимодействий путем заполнения диапазона практически используемых радиоволн (с одновременным развитием методов исследования их физических свойств) и, во-вторых, разработка специфической обобщенной теоретической схемы радиотехники на базе анализа конструкций

---

<sup>317</sup> Бренев И. В. Возникновение радиотехники. В кн.: Труды XIII Международного конгресса по истории науки. Секция XI. История техники. М.: Наука, 1974; Лебедев В. И. История радиотехники. М.: Госиздат, 1930.

<sup>318</sup> Лебедев В. И. История радиотехники, с. 54–55.

различных радиотехнических систем, включая развитие средств их синтеза. Первое направление представляет собой движение от «универсальной» онтологической схемы электродинамики к частным теоретическим схемам радиотехники. «Появление на сцене практической деятельности комбинаций, составляющих суть современной приемной станции, с технической точки зрения столь же важно, как экспериментальное доказательство существования электромагнитных волн, рассмотренное с точки зрения чистой науки»<sup>319</sup>.

«Телеграфия без проводов» первоначально представляла собой прикладное исследовательское направление электродинамики, а с 1900 г. стала рассматриваться как новый раздел (область исследования) электротехники, задача которого заключалась в борьбе со всевозможными видами помех излучению, приему и использованию тока высокой частоты. В ранних курсах по радиотехнике еще значительное место занимает электротехническая часть, так как радиотехника пользуется различными стандартными электротехническими устройствами и элементами. Поэтому радиотехнические цепи рассматриваются первоначально как разновидность электротехнических цепей, работающих на токах высокой частоты. В данном случае можно говорить о переносе исходной теоретической схемы и соответствующих ей понятий, представлений и методов анализа из смежной технической теории. В процессе переработки этой схемы, заимствованной из электротехники, на основе нового эмпирического материала (иных конструктивных элементов — дугowych и ламповых генераторов, искровых разрядников, радиоприемников, усилителей и др.) происходит ее коренное преобразование. Радиотехнические схемы имеют ряд существенных отличий от электротехнических цепей, а это влечет за собой и необходимость изменения их исходной электротехнической модели. Так, для получения токов высокой частоты в радиотехнике стали применяться методы, неизвестные в электротехнике, свободные колебания, не связанные с проводами и совершенно новые приборы и устройства, например антенны. Кроме того, изменяется и масштаб многих электротехнических величин. «Радиотехнику приходится учитывать такие величины, которые вследствие своей малости не представляют никакого интереса при изучении техники медленных изменений тока»<sup>320</sup>. Другими словами, достигается соответствие двух слоев технической теории — поточных (описывающих физические процессы, протекающие в радиотехнических устройствах) и структурных (задающих конструктивно-технические параметры этих устройств) схем.

Параллельно разрабатываются частные теоретические модели, например теория усилителей, теория пустотных (ламповых) генераторов переменного тока и др., образующие отдельные «островки» теоретического исследования. Все частные теоретические вопросы, касающиеся конструктивных элементов радиотехнических систем (например,

---

<sup>319</sup> Петровский А. А. Научные основания беспроволочной телеграфии. СПб., 1907, с. 537.

<sup>320</sup> Бонч-Бруевич М. А. Основы радиотехники, с. 6.

электровакуумных или полупроводниковых приборов), и более детальное описание конструкции их подсистем (радиоприемников, радиопередатчиков, антенн и др.) постепенно выносятся в специальные курсы. В результате были определены некоторые вопросы, представляющие общий интерес для любого радиотехнического устройства. Частные теоретические схемы перерабатываются и систематизируются с одновременным их обобщением. Именно таким путем формировалась обобщенная теоретическая схема радиотехники.

Проблема введения однородных идеальных объектов радиотехнической теории, позволяющих установить соответствие ее функциональной, поточной и структурной схем, на уровне традиционных электротехнических элементов решалась относительно просто. Во-первых, эти элементы (емкости, индуктивности, сопротивления) в электротехнике уже были поставлены в четкое соответствие конструктивным элементам реальных электрических схем (конденсаторы, катушки индуктивности, резисторы). Во-вторых, такая электрическая цепь может быть приведена к оперативному виду с помощью специально разработанных в электротехнике приемов, в которой развиты также особые методы анализа данных цепей, например методы контурных токов и узловых потенциалов.

«К началу 20-х годов радиотелеграфия без проводов, где раньше преобладали интуиция и искусство, превратилась в инженерную дисциплину, покоящуюся на твердом фундаменте технических расчетов и проектирования»<sup>321</sup>.

Таким образом, в теоретической радиотехнике динамическая физическая картина электромагнитных взаимодействий (колебаний, волн, полей) совмещается со структурным изображением радиотехнических систем, в которых эти естественные (в данном случае физические, точнее, электродинамические) процессы протекают и искусственно поддерживаются. Именно их органическое сочетание и образует «универсальную» онтологическую схему технической науки.

Поскольку инженер обычно ограничен в выборе конструктивных элементов и способов их изготовления, конструктивные и технологические параметры оказывают существенное влияние на выбор структурной и соответствующей ей поточной схем технической системы, а это, в свою очередь, определяет и те математические средства, которые могут быть использованы для ее расчета. Поэтому техническая теория содержит несколько теоретических слоев, ориентированных на различные реализации технической системы. Например, для теоретической радиотехники это будут теория радиопередатчиков, теория усилителей (выделяемые по функциональному признаку); импульсная техника, техника сверхвысоких частот (выделяемые по типу естественного процесса, протекающего в технической системе); теория электронных и ионных приборов, теория полупроводников (выделяемые по конструктивно-технологическому принципу) и т. д. Каждая такая теория более полно учитывает особенности тех или

---

<sup>321</sup> Бренев И. В. Указ. соч., с. 254.



иных режимов функционирования и конструктивно-технические и технологические параметры технических систем и их элементов. Однако все названные теории основываются на одной базовой технической теории, исследующей общие свойства электродинамических процессов в радиотехнических устройствах, т. е. получение, передачу, распространение в пространстве, прием и различные преобразования электромагнитных волн в разных физических средах. Эта базовая техническая теория генетически определяется соответствующей базовой естественнонаучной теорией, в данном случае — электродинамикой. Базовый естественный процесс для всех этих теорий один, хотя для описания действия конструктивных элементов данной технической системы применяются и другие естественнонаучные теории, основанные на иных физических процессах (квантовая теория излучения, электромагнитная теория Лоренца и др.).

В настоящее время сформировалось целое семейство дисциплин, которое получило название радиоэлектроники, ориентирующееся на преобразованную радиотехникой фундаментальную теоретическую схему электродинамики. Физическая картина электромагнитных взаимодействий (колебаний, волн, полей) совмещается со структурным изображением радиотехнических систем, в которых эти физические процессы протекают и искусственно поддерживаются. Таким образом, она преобразуется в *картину области функционирования технических систем* определенного типа. С одной стороны, она является результатом развития и конкретизации фундаментальной теоретической схемы базовой естественнонаучной теории в области функционирования технических систем, например диапазона практически используемых радиоволн как разновидности электромагнитных колебаний. С другой стороны, эта схема формируется в процессе систематизации и обобщения различных частных теоретических описаний конструкции данных технических систем, группирующихся вокруг отдельных идеализированных конструктивных элементов этих систем, осознания общности их структуры и включает в себя классификационную схему потенциально возможных технических систем данного типа и режимов их функционирования.

## Глава 2. КРУШЕНИЕ ОБРАЗА КЛАССИЧЕСКОЙ НАУКИ И РАЗВИТИЕ НЕКЛАССИЧЕСКОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

### 1. Формирование нового идеала неклассической науки

«Переход от классического к неклассическому естествознанию был подготовлен изменением структур духовного производства в европейской культуре второй половины XIX — начала XX в., кризисом мировоззренческих установок классического рационализма, формированием в различных сферах духовной культуры нового понимания рациональности, когда сознание, постигающее действительность, постоянно наталкивается на ситуации своей погруженности в саму эту действительность, ощущая свою зависимость от социальных обстоятельств, которые во многом определяют установки познания, его ценностные и целевые ориентации»<sup>1</sup>.

#### *Кризис классической — механистической — научной картины мира, критика Э. Махом физики Ньютона*

Формирование классической установки естествознания было не одномоментным, хотя и революционным, процессом, а постепенным переходом от эзотерических форм «тайного» учения алхимистов к рациональному механистическому представлению мира. Сам Ньютон воспринимается скорее как последний маг (в связи с занятием алхимией), чем первый «позитивист». Он занимался поиском системы мира, тайны универсума и в этом отношении в большей степени следует герметической традиции, о чем свидетельствуют его попытки доказать верность своей теории гравитации с помощью алхимических экспериментов<sup>2</sup>. Но его главный труд «*Principia Mathematica*» привел

---

<sup>1</sup> *Степин В. С.* Философская антропология и философия науки. М.: Высшая школа, 1992, с. 182.

<sup>2</sup> Ньютон не только читал литературу по алхимии, но и проводил алхимические эксперименты. Он, правда, не опубликовал при жизни ни одного своего алхимического трактата, которые стали предметом изучения историков науки только в последние десятилетия (см., например: R. Westfall. *Newton and Alchemy*. In: *Occult and Scientific Mentalities un the Renaissance*. Cambridge: Cambridge Univ. Press, 1984, p. 315–335).

к устранению Бога из мира, рассматриваемого как машина (часовой механизм), что соответствовало представлениям *Royal Society* (Английского Королевского общества) — стремлению к рационализации представлений о мире (картины мира). Происходил процесс «расколдовывания (*Entzauberung*) мира» (Макс Вебер) или «обезбоживания (*Entgötterung*) мира» (Шиллер), на смену которым пришли обожествление классической научной картины мира, формирование своего рода «научной религии» и «научной веры» в истинную науку и позитивные научные достижения, что привело к конфликту между реальностью науки, которую современная школа представляет как мифологическую картину мира, характерную для времен Гомера и Гесиода и после них, и человеческой реальностью. Поэтому и теория Ньютона стала рассматриваться как аналог Священному писанию — канон, отрицающий всякую критику, — а противоречащие ему данные — как ошибочные. Эрнст Мах первым подверг обстоятельной последовательной научно-рациональной критике теорию Ньютона, что привело к расшатыванию устоев «научной религии». Это было началом развития новой методологии научного исследования, формирования образа неклассической науки. Однако результатом стали снова «обожествление» и еще большая вера в небывалую сверхчеловеческую силу и поистине «божественные» возможности новейшего естествознания, вторгшегося в самую тайну бесконечного Космоса, тончайшие структуры неживой и даже живой материи, создавшего условия для технического воспроизведения «божественных творений» (например, трансмутации материалов или клонирования организмов), инженерного вмешательства в космические процессы и достижения господства (энергетического, военного, информационного) над земным миром, о чем лишь мечтали алхимики в тиши своих тесных лабораторий.

Эрнст Мах (1839—1916) — австрийский физик и философ науки. «Эрнст Мах родился 18 февраля 1838 года в Турасе в Моравии. Получил среднее образование под руководством своего отца, филолога, интересовавшегося естествознанием. Аттестат зрелости он получил в Кремзире (Моравия) и поступил в 1855 г. в Венский университет, который окончил в 1860 г. и был оставлен при нем для занятий по физике. В 1864 г. он перешел в университет города Граца профессором математики, а в 1868 г. получил кафедру физики в Пражском немецком университете, где оставался 28 лет. В 1894 году Венский университет пригласил Эрнста Маха на кафедру философии, которую он назвал кафедрой истории и теории индуктивных наук и занял в 1895 г. Мах был доктором философии и почетным доктором Тюбингского университета, действительным членом Венской академии наук, членом-корреспондентом академий в Мюнхене, Геттингене и т. д.»<sup>3</sup>. Первую свою работу (о доплеровской теории изменения звуков и цветов под

---

<sup>3</sup> Эта характеристика жизненного пути Э. Маха дана российским философом техники П.К. Энгельмейером, издавшим первое собрание работ Маха на русском языке, в предисловии к этому изданию (Энгельмейер П.К. Введение к кн.: Мах Э. Научно-популярные очерки. Вып. 1. Этюды по теории познания. М., 1901, с. VII). Мы выбрали Маха еще и потому, что его образ и роль в истории и методологии науки долгое время несправедливо оценивались однозначно отрицательно под влиянием идеологических штампов после критики его работ В.И. Лениным в книге «Материализм и эмпириокритицизм».

влиянием движения) Мах напечатал в 1868 г., когда ему было 22 года. Целый ряд его работ посвящен исследованию физиологической оптики и акустики. В 1883 г. появились его книга «История механики», которая уже в 1889 г. вышла вторым изданием, а в 1896 г. был опубликован объемный труд «Принципы учения о теплоте», причем обе эти книги носят критический характер. По утверждению Эйнштейна, Мах потряс догматическую веру в механицизм. В качестве основных принципов науки он выдвинул принципы экономии мышления и стремления к чистому описанию как источнику нового истинного знания.

Принцип экономии мышления Маха является, в сущности, развитием принципа, выработанного средневековым философом Вильямом Оккамом и получившего название «бритвы Оккама»: не умножай сущностей без меры. Этот принцип Мах впервые высказал перед Венской академией наук в 1882 г.: «Всякое суждение есть умственный эксперимент над отражениями фактов. Надо предсказывать. Для этого необходимо думать. Но эту работу, как и всякую другую, хочется сберечь, и все эти цели зараз достигаются путем увеличения производительности мыслительного труда». Область явлений сначала поражает массой частных. Стремясь найти в этой мозаике единство, мы выделяем повторяющиеся частности. Отвлекаясь от несходств, сходства воспринимаем как образ и сущность явления. «Эта умственная схематизация фактов и есть то, что в логике называется отвлечением». Мысль без труда отслеживает и воспроизводит те явления, которые привычны. Объяснить явление — значит свести непривычный ряд явлений к привычному ряду мыслей. «Основанием здесь служит невольно коренящееся в уме убеждение, что если данный ряд мыслей параллелен данному ряду фактов, то небольшому отклонению фактов должно соответствовать небольшое же видоизменение мыслей. Видя в этом допущении один из принципов, сказавшихся на эволюции науки, Мах называет его *принципом сплошности*»<sup>4</sup>. Чтобы охватить новую область фактов, мышление использует самый экономный путь. «Принцип экономии мышления был выдвинут Махом в связи с его исследованиями в области механики. Мах высказывает мысль, что механика не является совершенным и единственным изображением реальности. Основываясь на этом, он подвергает критике понимание Ньютоном абсолютности пространства и времени, утверждая, что физические законы связаны с взаимодействием масс (это было сформулировано им как «принцип Маха»); данное положение опровергало положение Ньютона о том, что пространство и время абсолютны, так как не зависят от распределения тяготеющих масс. Отрицание Махом абсолютности пространства приводило к более экономному представлению мира, так как в этом случае существовали не отдельно пространство и материя, а пространственно упорядоченная материя»<sup>5</sup>.

Итак, всякое познание, по Маху, стремится к экономии мысли, но до высшей степени она доведена в математике. Математика дает

<sup>4</sup> Энгельмейер П. К. Теория познания Эрнста Маха // Вопросы философии и психологии, 1897, кн. 3 (38), с. 448–449.

<sup>5</sup> Блинников Л. В. Краткий словарь философов. М.: Наука, 1994, с. 165.

нам испытанные в течение веков методы и результаты чужой мыслительной деятельности, инструменты мысли, которые аккумулируют в себе полученный ранее опыт. Конечно, наука, по мнению Маха, не дает ничего такого, что нельзя было бы сделать без нее, но для этого требуется более продолжительное время: «Каждую математическую задачу можно решить и непосредственным «считанием», но только дело в том, что при помощи математики иная счетная операция производится в несколько минут, между тем как при отсутствии метода на нее не хватило бы и целой жизни человека». Речь также дает огромную экономию мысли. Сбережению чужого опыта и мыслительного труда служит и преподавательская деятельность. Иначе говоря, мышление — это «работа, которую надо тратить. Всякая работа только тогда целесообразна и разумна, когда она по возможности сберегается, т. е. когда либо цель достигается с меньшей затратой работы, либо данная работа дает больший результат. Таким образом, в мышлении принцип разумности и принцип экономии совпадают, а потому прогресс в мышлении измеряется критерием экономности его. Наука есть ничто иное, как наиболее упорядоченная мысль»<sup>6</sup>. Мах считал, что «научное мышление ничем не отличается от житейского: первое только сгущение второго, или, его словами, научное мышление приспособлено к более обширному опыту, нежели житейское. К этому же приспособлению сводится и прогресс науки»<sup>7</sup>. По утверждению Маха, «мышление ученого отличается от мышления житейского более широким кругом интересов безличных или же сверх личных, далее тесным примыканием к тому, что в другом месте и в другое время передумано, и наконец — постоянной самопроверкой. Но в своей сущности мышление ученого не больше отличается от мышления простого человека, чем проза Паскаля или Дидро от бессознательной прозы г. Журдена»<sup>8</sup>.

Благодаря своей антиметафизической направленности, стремлению к содержательной простоте научных теорий и идее создания единой науки<sup>9</sup> Мах считается предшественником логического позитивизма, в особенности благодаря тому, что с 1895 по 1901 г. он занимал кафедру философии и истории индуктивных наук Венского университета, которую позже (1922—1936) возглавил один из основоположников логического позитивизма Мориц Шлик, глава Венского кружка<sup>10</sup>. Мах, ратуя за воссоединение философии и естествознания, так же, как и неопозитивисты, не считал необходимым развивать

<sup>6</sup> *Энгельмейер П. К.* Введение к кн.: Мах Э. Научно-популярные очерки. Вып. 1. Этюды по теории познания. М., И. Н. Кушнерев и К', 1901, с. XI.

<sup>7</sup> *Мах Э.* Научно-популярные очерки. Вып. 1. Этюды по теории познания. М.: И. Н. Кушнерев и К', 1901, с. 446.

<sup>8</sup> Там же, с. III—IV.

<sup>9</sup> Мах стремился преодолеть изолированность отдельных областей естествознания. С самого начала своей деятельности он обратился к пограничной области между физикой и психофизиологией.

<sup>10</sup> Подробнее об этом см.: *Stadler F. Ernst Mach — Zu Leben, Werk und Wirkung.* In: *Ernst Mach — Werk und Wirkung.* Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1988.

особые философские исследования, вплетая свои философско-методологические рассуждения в контекст естественнонаучных трудов: «Свои взгляды на теорию познания я высказал в ряде отдельных сообщений, пользуясь представлявшимися случаями. По этим причинам взгляды эти развивались рядом с материалом, из которого они почерпнуты». Мысли общего характера не сведены у него в общий труд, а разбросаны среди чисто специальных рассуждений. Мах по этому поводу отмечает: «Цель, которую я преследовал в моих изысканиях, была очень скромна: вместо того, чтобы задаваться общей отвлеченной теорией науки или теорией теории, я предпочел уяснить себе на конкретных случаях одной хорошо мне знакомой науки, как в действительности совершается прогресс в науке и какой выигрыш получается от того для мышления и для жизни»<sup>11</sup>.

Важное значение для понимания критики Махом классического естествознания имеет его теория познания и прежде всего его трактовка понятия «открытие». Раньше «научное открытие толковалось так, как будто человек, делая открытие, снимает покров с чего-то, существующего там, снаружи, независимо от человека. Такой взгляд воспитан тысячелетиями. Не в такой резкой форме, но он разделяется даже Кантом, который находит, что *открытие и изобретение* суть две противоположности в том отношении, что открывает человек что-нибудь существовавшее и раньше, тогда как изобретает он вещь новую. В подтверждение приводятся примеры: открытие Америки и изобретение компаса. взгляд этот опрокинут Махом ...». Теория познания Маха «подводит открытие под категорию изобретения»<sup>12</sup>.

Понятие научного открытия обычно связывается с понятием истины. По Маху же, речь идет о соотношении между мыслями и опытом, а не о чем-то лежащем вне или внутри нас, т. е. внешнем или внутреннем опыте.

«Итак, восприятия, как и представления, воля, чувствования, одним словом, весь внутренний и внешний мир, составляются из небольшого числа однородных элементов, образующих то более слабую, то более крепкую связь. Эти элементы обыкновенно называют ощущениями. Все исследование сводится тогда к определению связи этих элементов». По Маху, не наши ощущения являются производными внешнего мира, а, наоборот, мы произвели мир из наших ощущений<sup>13</sup>.

<sup>11</sup> Мах Э. Указ. соч., с. IV, III.

<sup>12</sup> Энгельмейер П. К. Эврология, или Всеобщая теория творчества // Вопросы теории и психологии творчества. Харьков, 1914, т. 5, с. 135, 143.

<sup>13</sup> «Если то, что я называю «внешним миром», для меня все соткано из моих ощущений (зрительных, слуховых, осязательных и т. д.) и воспоминаний о них, то и в том, что я называю своим «я», ничего нет кроме тех же самых ощущений. Таким образом, по Маху, «ощущения» и суть те последние элементы, на которые распадается и то, что мы называем нашим «я», и из которых как то, так и другое опять слагается. Все дело в том, что некоторые комплексы этих ощущений повторяются, т. е. как бы отличаются большей или меньшей устойчивостью. Дальше констатирования голого факта повторяемости некоторых комплексов, собственно говоря, мы не смели бы и идти, рассуждая строго, но для целей практической жизни, а также для целей экономного обозревания переживаемого, мы не только называем отдельными словами отдельные устойчивые (повторяющиеся) комплексы,

«При этом отпадает и взгляд на «открытие» как на обнаружение чего-то внешнего: содержанием открытия может быть только некоторая мысль, а сам термин «открытие» означает обнаружение того, что данная мысль соответствует данному опыту. Делая открытие, ученый, стало быть, ничего другого не делает, как лишний шаг в сторону упорядочения своих мыслей: он приспособляет свои мысли к опыту». Поскольку знать — значит приладить свои мысли к опыту, то научное открытие — это всякий успех в этом направлении. «Мышление и его упорядоченная форма — наука — являются средством, а отдельные умственные построения — инструментами»<sup>14</sup>.

Поэтому особенно ценным являются тезисы, сформулированные П.К. Энгельмейером, дающие общую и краткую характеристику теории познания Маха<sup>15</sup> и приведенные им в 1897 г. в докладе «Теория познания Маха» на заседании психологического общества в Москве:

1. Конечная цель всякого мышления есть предсказание опыта.
2. Мышление есть умственный эксперимент, производимый над умственными частичными отражениями опыта.
3. Научное мышление отличается от житейского только большею производительностью умственного труда.
4. Таким образом, принцип науки есть экономия мысли.
5. То, что привычно, представляется нам естественным, простым, понятным и необходимым.
6. Объяснить — значит непривычному ряду опыта подыскать параллельный ряд привычных мыслей.
7. Покуда данному ряду опыта параллелен ряд мыслей, мы говорим, что такое-то явление совершается по такому-то закону.
8. Как только расширяющийся опыт разрушает эту параллельность, сейчас же в ряд мыслей вносится наименьшее из возможных видоизменений, но такое, которое необходимо и возможно для параллелизации.
9. Этот процесс параллелизации основан на принципе сплошности, т. е. на том допущении, что если данная мысль соответствует данному факту, то небольшому изменению в факте должно соответствовать небольшое же изменение в мысли.
10. Только тогда, когда частичное изменение недостаточно для параллелизации, вся мысль (понятие, закон) отбрасывается и замещается новой.
11. Всякая наука увеличивает производительность умственной работы двояким путем: во-первых, предоставляя к нашим услугам испытанные методы мышления, и, во-вторых, давая нам в руки объединяющие категории и данные опыта, т. е. согласуя как форму, так и содержание мысли с широким и все расширяющимся опытом.

---

но идем еще дальше и постулируем некоторый постоянный внешний мир, а наши ощущения считаем его следствием, т. е. воздействием его на нас» (Энгельмейер П.К. Введение к кн.: Мах Э. Научно-популярные очерки. Вып. 1. Этюды по теории познания, с. XII).

<sup>14</sup> Энгельмейер П.К. Эволюция, или Всеобщая теория творчества // Вопросы теории и психологии творчества. Харьков, 1914, т. 5, с. 145.

<sup>15</sup> Как отмечает П.К. Энгельмейер, «этих тезисов нигде у Маха нет, но когда они ему были предъявлены в немецком переводе, то он уведомил письмом пишущего эти строки, что тезисы верно передают его воззрения» (см.: Энгельмейер П.К. Теория познания Эрнста Маха // Вопросы философии и психологии, 1897, кн. 3 (38), с. XIII–XIV).

12. Аналогия есть основная функция всякого мышления.

13. Такое сознание, которому было бы доступно явление во всей его сложности, не было бы никакой другой причинности, кроме последовательности.

14. Точно так же в природе нет никакой другой зависимости, кроме сосуществования и последовательности, а потому законы, устанавливаемые наукой, не могут быть ничем больше, как возможно краткими описаниями.

15. То, что называется причиной и следствием, суть только отдельные частности, выделяемые из общего комплекса (явлений) для того, чтобы легче воспроизводить в мыслях комплекс. Здесь все зависит от привычки мысли, и с изменением последней изменяются в наших глазах причины и следствия в данном явлении.

16. Прогресс в науке есть постепенное приспособление мысли к возрастающему опыту, и эволюция науки есть только часть эволюции животного мира.

Последний тезис следует пояснить особо. С точки зрения Маха, вся деятельность человека, в том числе и умственная, направлена на самосохранение. Мышление — это оружие человека, благодаря которому он занял господствующее положение на Земле. Следовательно, мышление — это средство к достижению жизненных целей, которое необходимо для того, чтобы предсказывать явления. «Переноса на эволюцию науки взгляды Дарвина, Мах говорит, что мысли, как живые существа, как отдельные органы последних, стремятся к самосохранению и борются за существование и выживают из них те, которые наиболее приспособлены к опыту, в его постоянном изменении, под влиянием жизни человека и человечества»<sup>16</sup>.

Однако для нас наиболее интересным и важным является тот аспект историко-критического метода, который связан с критикой учения Ньютона.

«Наиболее замечательная книга Маха — «Механика», — опубликованная впервые в 1883 г., известна более всего, по-видимому, благодаря содержащемуся в ней обсуждению ньютоновских «начал» и, в частности, благодаря сокрушительной критике того, что Мах назвал «уродливостью понятия абсолютного пространства». Эта уродливость объяснялась тем, что была целиком выдуманной вещью, которая не могла быть подтверждена опытом. Начав с анализа ньютоновских предпосылок, Мах переходит затем к провозглашению своей собственной программы, состоящей в исключении из науки всех метафизических понятий»<sup>17</sup>.

В своих работах Мах подверг обстоятельному анализу и критике основополагающие понятия ньютоновской механики (массы, времени, пространства и др.) и попытался дать собственные формулировки. Критикуя формулировку Ньютоном основных законов механики, Мах отмечает тавтологию его представлений, тем самым посягая на «священный текст» признанного авторитета науки. Например, легко заметить, отмечает Мах, что первый и второй законы ньютоновской

<sup>16</sup> См.: *Энгельмейер П. К.* Теория познания Эрнста Маха // Вопросы философии и психологии, 1897, кн. 3 (38), с. 447.

<sup>17</sup> *Холтон Дж.* Тематический анализ науки. М.: Прогресс, 1981, с. 75–76. Следует отметить, что ньютоновскую идею абсолютного пространства критиковал философ Беркли уже через 20 лет после выхода основополагающего труда Ньютона. Но эта критика была преждевременной для его эпохи.



механики уже заданы в предварительно введенном им определении силы. Без силы нет ускорения, поэтому возможны лишь покой и равномерное прямолинейное движение. Все остальное — ненужная тавтология. Это, впрочем, продолжает Мах, вполне объяснимо психологически, если представить себе исследователя, который формулирует законы динамики исходя из хорошо ему известных статических представлений. Удивительно лишь то, что до сих пор механику в школе преподают все еще по Ньютону, хотя тавтология его утверждений явно не помогает восприятию материала физики учениками. Это ли не свидетельство пиетета по отношению к великому Учителю! Следует отметить при этом, что сам Мах не принял идей теории относительности Эйнштейна, несмотря на то, что Эйнштейн обращался к нему с восторженными письмами и считал, что находился до некоторой степени под влиянием его идей<sup>18</sup>. В своих автобиографических заметках Эйнштейн приписывает Маху заслугу в том, что тот разрушил догматическую веру в основополагающую роль механики как надежной базы физики. Эйнштейн отмечает глубокое влияние, которое произвела на него в студенческие годы «История механики» Маха. Поскольку этот пункт является наиболее важным и наиболее обсуждаемым в интерпретациях историков и философов науки, на нем следует остановиться более подробно, чтобы выяснить, в каком смысле следует понимать влияние Маха на Эйнштейна.

П. Фейерабенд в своей работе «Теория исследования Маха и ее связь с Эйнштейном» специально останавливается на этом вопросе<sup>19</sup>. Он отмечает, что Мах критиковал не только физику своего времени, но и развил особую теоретико-познавательную установку, и эти две стороны научной деятельности Маха рассматривались Эйнштейном как независимые, да и оценивались им по-разному. В то время как Мах в качестве теоретика познания, пишет Эйнштейн, рассматривал «ощущения основополагающими кирпичиками действительного мира»,

---

<sup>18</sup> В предисловии к своей «Механике» (1912) Мах, как бы извиняясь, пишет: «Я сам, будучи 74-х лет отроду и тяжело болен, пожалуй, не стану причиной никаких революций», а в предисловии к «Оптике» он категорически отвергает звание предшественника теории относительности (Motz H. Ernst Mach als Physiker und Historiker der Physik mit Zukunft. In: Ernst Mach — Werk und Wirkung. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1988, S. 101–102, 103). Эйнштейн впервые формулирует «принцип Маха» в «Принципах общей теории относительности» (1918), где обозначает его как обобщение требования Махом необходимости редуцировать инерцию к взаимодействию между телами. В 1921 г. он пишет, что именно теория поля способна провести идеи Маха, но в 1949 г. утверждает обратное — что это невозможно (S. 104). Г. Вольтерс в своем исследовании «Мах I, Мах II, Эйнштейн и теория относительности. Фальсификация и ее последствия», анализируя архивные материалы, в том числе и найденные им самим, а также труды Маха, доказывает, что оба названные предисловия к книгам Маха сфальсифицированы старшим сыном Маха Людвигом, а у самого Маха не было ни малейшего основания отклонять теорию относительности (Wolters G. Mach I, Mach II, Einstein und die Relativitätstheorie. Eine Fälschung und ihre Folgen. Berlin, N. Y.: Walter de Gruyter, 1987, S. 2).

<sup>19</sup> Feyerabend P. Machs Theorie der Forschung und ihre Beziehung zu Einstein. In: Ernst Mach — Werk und Wirkung. Wien: Hölder-Pichler-Tempsky, 1988.

как физик он критиковал абсолютное пространство, не покидая, однако, сферу физики. Фейерабенд показывает, что такое разделение достаточно легко принять за близкое к истине, поскольку физические аргументы Маха задают философию науки, отличную от позитивистской и находящуюся в соответствии с исследовательской практикой Эйнштейна, а также некоторыми его общими рассуждениями по этому поводу. В ней содержатся вполне осмысленные возражения против как атомистических представлений XIX в., так и специальной теории относительности. Фейерабенд утверждает, что «теория познания Маха вообще не является теорией познания. Она в большей степени является общей теорией науки (или наброском такой теории), которая по ее форме (но не по содержанию) сравнима с атомизмом, отличаюсь, впрочем, от любой позитивистской онтологии»<sup>20</sup>. Наиболее разумна, на наш взгляд, точка зрения Г. Волтерса, который утверждал, что Мах оказал влияние на Эйнштейна не на уровне конкретного эмпирического или формально-аналитического научного исследования и их результатов, а на методологическом уровне, рассматривая его (по Дж. Холтону<sup>21</sup>) как тематическое влияние. Рассмотрим его аргументацию подробнее.

По мнению Волтерса, Мах понимал прогресс науки эволюционно, как никогда не завершаемый процесс перестройки и приспособления мысли. В этом смысле наука всегда незакончена и изменяема, причем для Маха она всегда является не личным делом, а социальным предприятием. Эта критичность по отношению к научным достижениям и составляет главную заслугу Маха, который подорвал незыблемость господствовавшего в течение XVIII и XIX вв. догматизма в физике. «Критика Махом механистической картины мира является для Эйнштейна в ретроспективе самым значительным тематическим вкладом, который Мах внес в теорию относительности. Эйнштейн развил далее темату Маха ...».

При этом следует иметь в виду, что у Маха понятие «картина мира» является синонимом мировоззрения. Она лишь средство теоретического и практического ориентирования. Чтобы служить этой цели, она должна быть по возможности полной, единой, взаимосвязанной. Господствующей научной картиной мира в то время, когда Мах вступил на стезю научного исследования, была механистическая картина мира, основывающаяся на идее редукции сложного к простому. Онтологический аспект этой картины основывался на конкретизированном с помощью достижений тогдашней науки представлении демокритовского атомизма о том, «что все природные процессы, в конечном счете, состоят в движении мельчайших, неизменных, материальных единиц». Методологический же аспект механистической картины мира «покоится на требовании для всех физических теорий давать механические модели», т. е. «любое физическое явление только тогда считается достаточно объясненным, если его описание сделано с помощью средств механики». Одним из вариантов такого методологического механицизма можно считать допущение эвристической ценности механических аналогий в немеханических областях физики. Мах благосклонно относился к такого рода механицизму, но отклонял механицизм как общую программу, особенно онтологический механицизм. Например, он считал полезными такие аналогии для динамической теории газов, т. е. исследования зависимости скорости диффузии, трения и т. п. от температуры.

<sup>20</sup> Feysrabend P. Указ. соч., S. 435–436.

<sup>21</sup> Холтон Дж. Тематический анализ науки. М.: Прогресс, 1981.

Однако, по его мнению, «эвристический успех одной модели еще не доказывает существования моделируемого объекта, поскольку аналогия не является тождеством». Механические процессы действительно наиболее понятны и воспроизводимы, их можно прогнозировать, а механика — это наиболее развитая всеохватывающая теория физики. Но многие физики того времени, по заключению Маха, склонны были смешивать методологический и онтологический механицизм, воспринимая развиваемые ими теоретические представления как картины мира. «Прежде всего для Маха механистическую физику дискредитирует это смешение картины и действительности как «химерический идеал», снова проявившийся в «натурфилософском» «представлении субстанции» в его *наивнейшей и грубейшей форме*.

К этому он добавляет еще один весьма существенный для него отрицательный момент — отстранение физики от чувственного опыта. Например, ощущение тепла в физике — это теоретически выведенный феномен, связанный с тем, что организм не способен установить действительную сущность этого явления, заключающуюся в движении атомов, воздействующих на наши органы чувств (осознание). Для Маха же именно ощущение тепла является первичным. Именно поэтому, считает он, наука (механическая физика) не выполняет своей ориентирующей роли в мире чувственного опыта; физика поэтому дает нам лишь схему, в которой мы не в состоянии более распознать ничего из действительного мира. И тогда *чувственный мир*, от которого мы «отталкивались как от близкой и знакомой нам вещи, внезапно предстает как самая большая мировая загадка»<sup>22</sup>.

Таким образом, самым существенным для нашего рассмотрения пунктом философии науки Маха является признание им принципиальной гипотетичности научных теорий и представлений. «Существуют гипотезы, напоминает нам Мах, которые действуют лишь одно мгновение. Есть, однако, также и такие, которые держатся тысячелетия и столетия, как, например, птолемеевская космология. Абсолютные пророчества, таким образом, не имеют никакого научного смысла. Однако Мах, несмотря на знание того, что — «история все сделала, история может все и изменить», — не стал от этого представителем анархистской теории познания, которая сегодня распространена в лагере так называемых антипозитивистов»<sup>23</sup>. Но в то же время именно он заложил методологические основы той новой научно-исследовательской парадигмы, которая получила название неклассической научной программы. Следует иметь в виду, что «неудача всех попыток значительных физиков (таких, как Максвелл и Герц) свести электродинамику к одной механической модели и привела, в конечном счете, к крушению механистической модели мира в целом», т. е. в той области, на которую Мах не оказывал прямого влияния. Но критика Махом механистической картины мира, учитывая огромный личный престиж ее автора, способствовала развитию антимеханистических воззрений у молодого Эйнштейна, который окончательно разрушил своей теорией относительности эту классическую картину мира. «Эйнштейн перенял у Маха в дифференцированной форме тему антимеханицизма,

<sup>22</sup> *Wolters G.* Mach I, Mach II, Einstein und die Relativitätstheorie. Eine Fälschung und ihre Folgen. Berlin, N.Y.: Walter de Gruyter, 1987, S. 20–24.

<sup>23</sup> *Haller A.* Poetische Phantasie und Sparsamkeit — Ernst Mach als Wissenschaftstheoretiker. Berlin, N.Y.: Walter de Gruyter, 1987, S. 350.

и переработка этой темы в теорию относительности была — для Маха ясно опознаваемой, — а для его друзей и врагов понятой как уничтожающий удар против механистической картины мира»<sup>24</sup>.

Джеральд Холтон следующим образом характеризует воздействие Маха на становление неклассического естествознания: «Влияние воззрений Маха было огромным, в особенности в странах, говорящих по-немецки; оно распространялось на физику, физиологию, психологию и философию науки (не говоря уже о влиянии на ... деятелей культуры за пределами естествознания). Мах, будучи фигурой до странности пренебрегаемой современными учеными в последние два или три года вдруг стал предметом ряда многообещающих исследований. Еще сам Мах любил говорить, что им пренебрегают и на него нападают из-за того, что у него нет никакой философской системы, но все же его философские идеи и представления широко вошли в интеллектуальный обиход с 1880-х годов, и Эйнштейн был совершенно прав, говоря впоследствии, что «даже те, кто считал себя противниками Маха, вряд ли оознавали, как много они восприняли от воззрений Маха, это было, как если бы они впитали их с молоком матери»<sup>25</sup>.

В России учение Маха также оценивалось неоднозначно. С одной стороны, признавались его заслуги и даже был создан кружок друзей Маха, о чем Энгельмейер писал в одном из своих писем Маху, с другой стороны, к учению Маха относились весьма пренебрежительно<sup>26</sup>, особенно в советское время. Это объяснялось тем, что, как уже упоминалось, в работе Ленина «Материализм и эмпириокритицизм» содержалась непозволительно грубая и во многом несправедливая критика ряда крупных ученых, историков и философов науки — Маха, Оствальда, Петцольда и др.<sup>27</sup> В условиях тоталитарного режима эта критика стала для многих убийственной. Обвинение в махизме не только признавалось страшным теоретическим и идеологическим грехом, но за ним следовали и вполне конкретные санкции административно-командной системы. Сейчас положение меняется и учение Маха получает вполне заслуженную оценку, не зависящую от идеологических предрассудков.

---

<sup>24</sup> *Wolters G.* Указ. соч., S. 25–28.

<sup>25</sup> *Холтон Дж.* Указ. соч., с. 77.

<sup>26</sup> В одной из рецензий на книгу П.К. Энгельмейера «Критика научных и художественных учений гр. Л. Толстого» (М., 1898) сказано, что ее автор «примыкает к Авенариусу и Маху, как будто только и света, что в их окне» (Московские ведомости, 1989, № 276). В другой рецензии высказывается противоположное мнение: «Учение Авенариуса и Маха у нас мало кто знает. Наши профессиональные философы не считают для себя обязательным знакомство с великими двумя немецкими мыслителями. Поэтому особенно отрадно видеть, что между молодыми натуралистами (автор рецензии полагает, что г. Энгельмейер и молод, и натуралист) являются люди, показывающие профессиональным философам дорогу к тому ручью, из которого бьет свежая и здоровая мысль» (Новости, 1989, № 270).

<sup>27</sup> О грубости полемики в этой работе свидетельствуют выдержки из рецензии на нее Л.И. Аксельрод, опубликованной в журнале «Современный мир» (1909, июль, № 7): «Полемика Ильина (книга была написана Лениным осенью 1908 г. и весной 1909 г. вышла в свет под псевдонимом «Вл. Ильин»), отличаясь некоторой энергией и настойчивостью, всегда отличалась в то же время крайней грубостью, оскорбляющей эстетическое чувство читателя. ... Не соответствуют истине и потому

## Становление неклассического этапа развития науки

### Особенности неклассического естествознания

- (1) Изменение роли субъекта в познании, который стал рассматриваться «не как дистанцированный от изучаемого мира, а как находящийся внутри него, детерминированный им»

Согласно классической установке объективность научного знания достигается исключением из описания и объяснения объекта всего, что «относится к субъекту и процедурам его познавательной деятельности. Эти процедуры понимались как раз и навсегда данные и неизменные». «В классической физике идеал объяснения и описания предполагает характеристику объекта «самого по себе», без указания на средства его исследования». Для неклассической науки характерно признание «корреляции между онтологическими постулатами науки и характеристиками метода, посредством которого осваивается объект принимаются такие типы объяснения и описания, которые в явном виде содержат ссылки на средства и операции познавательной деятельности». Например, «в квантово-релятивистской физике в качестве необходимого условия объективности объяснения и описания выдвигается требование четкой фиксации особенностей средств наблюдения, которые взаимодействуют с объектом»<sup>28</sup>. «Как известно, в основе классического способа описания явлений лежало молчаливое предположение о несущественности воздействия средств наблюдения на измеряемый объект, о независимости физических процессов от условий наблюдения. Предполагалось, что всегда можно «подсмотреть» явление, не вмешиваясь в него и не влияя на него. Современное естествознание «описывает и объясняет природу не так просто, что она является как бы сущей «самой по себе». Она скорее является частью взаимной игры между природой и нами самими»<sup>29</sup>. На этом основании Гейзенберг и многие другие исследователи делают вывод о невозможности разделения субъекта и объекта: реальность, и это

---

особенно грубы и возмутительны эпитеты, которыми Ильин награждает мыслителей из позитивистского лагеря. Авенариус — «кривляка» ... «имманенты» — «философские Меншиковы» в «ноздревски-петцольдовском смысле слова», Корнелиус — «урядник на философской кафедре» ... Или такой перл: «Петухи Бюхнеры, Дюринги и К' (вместе с Леклером, Махом, Авенариусом и пр.) не умели выделить из навозной кучи абсолютного идеализма диалектики — этого жемчужного зерна»... Уму непостижимо, как это можно нечто подобное написать, написавши не зачеркнуть, а не зачеркнувши, не потребовать с нетерпением корректуры для устранения таких грубых и нелепых сравнений». В других рецензиях на эту книгу тоже приведены образцы таких ругательств: «кривляющийся Авенариус», «мошеннические фразы», «беспредельное тупоумие мешанина Маха», «прихвостни», «безмозглый», «безбожно переврал», «лакей», отмечается также недопустимое превращение фамилий философских противников в клички (Рецензия цитируется по: Ленин В.И. Соч. Т. XIII. Изд. 3-е. Партиздат ЦК ВКП (б), 1935, с. 332 и далее).

<sup>28</sup> *Степин В.С.* Философская антропология и философия науки. М.: Высшая школа, 1992, с. 177, 179–180.

<sup>29</sup> *Heisenberg W.* Gesammelte Werke. Bd. 2. München, Zürich, 1984, S. 64, 66.

является одним из уроков квантовой механики, нельзя рассматривать как собрание объектов, «существующих сами по себе»<sup>30</sup>.

- (2) Изменения в экспериментально-измерительной деятельности, характерные для неклассической физики и связанные с так называемым парадоксом неизмеримости

В классической физике предполагается, что измерительный прибор не влияет на состояние измеряемого объекта, с которым он взаимодействует, и всегда можно подобрать такие условия эксперимента, что этим возмущением можно пренебречь либо учесть его и внести соответствующие поправки в результаты измерений. Однако это невозможно применить к микросистеме. «В таких измерениях физическая система, сведения о состоянии которой дает измерение, всегда представляет собой микросистему, тогда как прибор, регистрирующий значения величин, которые характеризуют состояния данной системы, принадлежит всегда к объектам макроуровня. Пробное тело, будучи посредником между измеряемой микросистемой и прибором-регистратором, должно взаимодействовать с первой тоже как микросистема. Существование кванта действия не позволяет пренебречь обратным воздействием пробного тела на измеряемый объект, и поэтому в квантовой области следует отказаться от идеализации пробного тела, не воздействующего на объект измерения. Такой отказ означает, что в квантово-механических измерениях в отличие от классических ситуаций состояние системы до и после измерения нельзя идентифицировать»<sup>31</sup>.

Поэтому, во-первых, результаты проведенного измерения не всегда с точностью воспроизводимы (их можно только предсказать с определенной степенью вероятности) и, во-вторых, возмущающим действием экспериментально-измерительной деятельности нельзя пренебречь. Объект измерения не может рассматриваться отдельно от этой деятельности: он не является себе тождественным до, во время и после эксперимента. «В сфере применимости квантовой механики нельзя задавать вопросы о том, что представляет собой, например, электрон, когда фактически не производится его наблюдение (с помощью экспериментальной установки того или иного типа (выявляющей либо корпускулярные, либо волновые его свойства). Квантово-механические предсказания относятся лишь к ситуациям фактического наблюдения»<sup>32</sup>. Скажем, электрон, строго говоря, не является ни частицей, ни волной, но в некоторых экспериментальных ситуациях может проявлять себя как то или другое. Это означает, что свойства электрона зависят от экспериментальной ситуации, в которую он включен, т. е. от аппаратуры, с которой он взаимодействует. «В атомной физике

---

<sup>30</sup> Севальников А. Ю. Современные онтологические модели квантовой механики: философский анализ. Автореферат. М.: ИФРАН, 1997, с. 16, 17, 21.

<sup>31</sup> Степин В. С. Становление научной теории. Минск: Изд-во БГУ, 1976, с. 221–222.

<sup>32</sup> Севальников А. Ю. Указ. соч., с. 10.

наблюдаемый феномен можно понять лишь как корреляцию между различными процессами наблюдения и измерения, причем конец этой цепи процессов располагается всегда в сознании человека-наблюдателя. Решающей характерной чертой квантовой теории является то, что наблюдатель не только необходим, чтобы наблюдать свойства атомарного события, но необходим даже и для того, чтобы эти свойства вызвать. Мое сознательное решение о том, каким образом я хочу наблюдать электрон, до некоторой степени определяет свойства электрона». Например, именно в момент измерения частице задается некоторая ось вращения и невозможно сказать, вращалась ли она вокруг этой оси до измерения. «Она имеет лишь определенную тенденцию или потенциал действовать именно таким образом»<sup>33</sup>.

- (3) В неклассической физике все большее значение придается методу математической гипотезы (минуя промежуточные интерпретации) и идеализированным экспериментам (без воспроизведения их на всех промежуточных стадиях в виде реальных экспериментов)

«В отличие от классических образцов в современной физике построение теории начинается с формирования ее математического аппарата, а адекватная теоретическая схема, обеспечивающая его интерпретацию, создается уже после построения этого аппарата». Этот аппарат, как правило, переносится из другой области науки, отчленяется от неадекватной модели, а затем соединяется с новой теоретической моделью. «Согласованность новой модели с математическим аппаратом является сигналом, свидетельствующим о ее продуктивности, но, тем не менее, не выводит новую теоретическую конструкцию из ранга гипотезы. Для этого нужно еще эмпирическое обоснование модели, которое производится путем конструктивного введения ее абстрактных объектов. Средством, обеспечивающим такое введение, являются процедуры идеализированного эксперимента и измерения, в которых учитываются особенности реальных экспериментов и измерений, обобщаемых новой теорией. Если в классической физике каждый шаг в развитии аппарата теории подкреплялся построением и конструктивным обоснованием адекватной ему теоретической модели, то в современной физике стратегия теоретического поиска изменилась. Здесь математический аппарат достаточно продолжительное время может строиться без эмпирической интерпретации. Тем не менее при осуществлении такой интерпретации исследование как бы заново в сжатом виде проходит все основные этапы становления аппарата теории»<sup>34</sup>.

---

<sup>33</sup> *Capra F. Wendezeit. Bausteine für ein neues Weltbild.* Bern, München, Wi Scherz Verlag, 1983, S. 90–91, 87.

<sup>34</sup> *Степин В.С.* Структура и динамика научного познания. В кн.: Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А. Философия науки и техники. М.: Фирма «Гардарика», 1996, с. 268, 275, 276–277.

- (4) Новое понимание объекта исследования как сложной динамической системы, которая «рассматривается уже не как себе тождественная вещь (тело), а как процесс, воспроизводящий некоторые устойчивые состояния и изменчивый в ряде других характеристик»

В классической науке объектом исследования были малые относительно простые (главным образом механические или сводимые к ним) системы, характеризующиеся сравнительно небольшим количеством элементов с жестко детерминированными связями. В неклассическом естествознании поле исследуемых объектов расширяется, осваиваются сложные саморегулирующиеся многоуровневые системы, элементы и подсистемы которых находятся в постоянном взаимодействии, а целое не сводится к сумме его частей. Формированию представлений о природе как сложной динамической системе «способствовало открытие специфики законов микро-, макро- и мегамира в физике и космологии, интенсивное исследование механизмов наследственности в тесной связи с изучением надорганизменных уровней организации жизни, обнаружение кибернетических общих законов управления и обратной связи. Тем самым создавались предпосылки для построения целостной картины природы, в которой прослеживалась иерархическая организованность Вселенной как сложного динамического единства»<sup>35</sup>.

«До конца 19 столетия астрофизические исследования концентрировались в основном вокруг тел Солнечной системы. Изучение поверхности Луны и планет, наблюдения за кометами и метеоритами, а также многочисленными явлениями типа пятен, факелов, протуберанцев на Солнце были на первом плане». Далее внимание сосредоточилось на исследовании звездных систем как строительных элементов Вселенной, доказательстве множественности этих систем, что явилось доказательством интуитивных идей Джордано Бруно о множестве миров. Кроме поиска и систематизации новых систем, аналогичных Солнечной системе и отличных от нее, классификации «надсистем» – галактик и подсистем–элементов и т. д. – начали формироваться новые представления о Космосе в целом, например модель ограниченной, но разбегающейся Вселенной, границ которой невозможно достичь, поскольку приближение к ним требует все возрастающих затрат энергии, и это уже знаменовало переход к неклассическим представлениям<sup>36</sup>. Аналогичным образом произошел сдвиг в сторону исследования микросистем. В 1911 г. английский физик Резерфорд разработал планетарную модель атома. «Вместе с английским физиком и химиком Фредериком Содди Резерфорд разработал представление о том, что радиоактивные явления основываются на преобразовании элементов». Радиоактивный атом излучает, например,  $\alpha$ -частицу, порождает атом гелия и преобразуется тем самым в другой элемент. При этом атом «неделимый» оказывается делимым.

Резерфорд исходил из интуитивной модели, в которой атом состоит из заряженного тяжелого компактного ядра и окружающей его электронной оболочки, имеющей отрицательный заряд, и поэтому в целом является электрически нейтральным. Электроны

<sup>35</sup> *Степин В. С.* Философская антропология и философия науки. М.: Высшая школа, 1992, с. 180.

<sup>36</sup> *Becker Fr.* Die Erforschung des Weltalls im XX. Jahrhundert. In: *Forscher und Wissenschaftler in heutiger Europa. Weltall und Erde.* Hamburg: Gerhard Stalling Verlag, 1955, S. 215, 218.



вращаются вокруг этого ядра под влиянием электрического притяжения. Это представление, основанное на переносе в микромир ньютоновской модели Вселенной, сначала было изложено в его сообщении «Манчестерскому литературно-философскому обществу». Последующие измерения и экспериментальные наблюдения полностью подтвердили это представление.

Создатель современной атомной физики Нильс Бор был среди учеников Резерфорда в Манчестере<sup>37</sup>. Если Резерфорд начал экспериментальное исследование атома, то Бор развил теоретическое понимание атома, четко осознав, что атом в соответствии с классическими законами вообще не может существовать в соответствии с классическими законами. «Электроны должны постоянно излучать свет и через краткое время упадут на ядро. Основное положение химии о стабильности и однородности всех атомов одного и того же элемента противоречило следствиям существующей физики применительно к этой модели»<sup>38</sup>.

- (5) Если для классического естествознания характерен моно-теоретический (монологический) способ мышления, т. е. построение и признание истинной одной единственной теоретической системы, объясняющей тот или иной класс исследуемых явлений, то в неклассическом естествознании признается возможность одновременного существования различных теоретических систем, по-разному объясняющих один и тот же класс явлений действительности и в то же время остающихся в одинаковой степени истинными

«Возникает понимание того обстоятельства, что ответы природы на наши вопросы определяются не только устройством самой природы, но и способом нашей постановки вопросов, который зависит от исторического развития средств и методов познавательной деятельности»<sup>39</sup>. Классическим примером отхода от принципа монологичности классического естествознания является сформулированный в неклассической физике Н. Бором принцип дополнительности волнового и корпускулярного описания квантово-механических явлений. «Для него представление в виде частицы и волновое представление были двумя взаимодополнительными описаниями одной и той же реальности, каждая из которых была лишь отчасти верной и имела ограниченную возможность применения»<sup>40</sup>.

Исходя из того, что ни химические представления, ни экспериментально доказанная модель атома не должны быть принесены в жертву, Бор пришел к выводу о необходимости корректировки физических законов, не соответствующих данной модели. Тем самым была достигнута новая ступень физического мышления: необходимо искать не новые модели, а новые законы природы. Осознание этого самим Бором доказывают

<sup>37</sup> *Leibfried G.* Lord Rutherford of Nelson. Begründer der Atom- und Kernphysik. In: *Forscher und Wissenschaftler in heutigen Europa. Weltall und Erde.* Hamburg: Gerhard Stalling Verlag, 1955, S. 65, 66.

<sup>38</sup> *Bohr N.* Der Schöpfer der Atommodels. In: *Forscher und Wissenschaftler in heutigen Europa. Weltall und Erde.* Hamburg: Gerhard Stalling Verlag, 1955, S. 72.

<sup>39</sup> *Степин В. С.* Указ. соч., с. 179.

<sup>40</sup> *Capra F.* Wendezeit. Bausteine für ein neues Weltbild. Bern, München, Wien: Scherz, 1983, S. 90–91, 82.

его высказывания из работы, посвященной модели атома: надеюсь, что я выразился достаточно ясно, чтобы Вы поняли, в каком резком противоречии находятся предложенные представления к достойному восхищению объединенному кругу представлений, которые по праву можно назвать классической электродинамикой. В то же время я приложил усилия к тому, чтобы донести до Вас впечатление о том, что — именно с помощью акцентирования этой противоположности — вероятно, возможно со временем привнести определенную связь также и в новые представления»<sup>41</sup>. Бор заимствовал квантовую теорию, разработанную Максом Планком и основанную на гипотезе Эйнштейна о существовании квантов света, и это уже было переходом к неклассической физике<sup>42</sup>.

(б) Переход от (лапласовского) детерминизма к исследованию статистических закономерностей

«Важную роль при описании динамики системы начинают играть категории случайности, потенциально возможного и действительного. Причинность не может быть сведена только к ее лапласовской формулировке — возникает понятие «вероятностной причинности»<sup>43</sup>. Например, при исследовании поведения микрообъекта реализуется лишь одна из возможностей его поведения в различных внешних условиях, т. е. в процессе измерения. «Описываемое волновой функцией системы состояние является объективным в том смысле, что представляет объективную (независимую от наблюдателя) характеристику потенциальных возможностей того или иного акта взаимодействия микрообъекта с прибором. По Фоку, такое «объективное состояние не является еще действительным, в том смысле, что для объекта в данном состоянии указанные потенциальные возможности еще не осуществились. Переход от потенциальных возможностей к осуществившемуся происходит в заключительной стадии эксперимента»<sup>44</sup>. «Статистическое распределение вероятностей и отражает объективно существующие при данных условиях потенциальные возможности»<sup>45</sup>. Таким образом, квантовые законы носят вероятностный характер. «В квантовой физике два одинаковых объекта, находящиеся в одинаковых начальных состояниях и подвергающиеся в одинаковых условиях одинаковым воздействиям, переходят в неодинаковые конечные состояния, т. е. ведут себя неодинаково»<sup>46</sup>. Формулы квантовой механики, описывающие квантово-механические закономерности, очерчивают лишь тенденции, выражаемые в виде вероятностей. «Они аналогичны математическим формулам, применяемым, чтобы, например, описать колебания струны гитары или звуковой волны. Именно

<sup>41</sup> Bohr N. Drei Aufsätze über Spektren und Atombau. Braunschweig, 1922, S. 19.

<sup>42</sup> Bohr N. Der Schöpfer der Atommodells. In: Forscher und Wissenschaftler in heutigen Europa. Weltall und Erde. Hamburg: Gerhard Stalling Verlag, 1955, S. 71–73.

<sup>43</sup> Степин В. С. Указ. соч., с. 181.

<sup>44</sup> Фок В. А. Об интерпретации квантовой механики. М., 1957, с. 12.

<sup>45</sup> Севальников А. Ю. Указ. соч., с. 22.

<sup>46</sup> Пахомов Б. Я. Детерминизм, критерии тождества, проблема объективной реальности в квантовой теории. В кн.: Философия физики элементарных частиц. М.: ИФРАН, 1995, с. 148.

таким образом частицы могут быть одновременно волнами. Они не являются «реальными» трехмерными волнами, как водяные или звуковые волны. Они — «вероятностные волны» — абстрактные математические величины со всеми характеристическими свойствами волн, — которые связаны с вероятностью найти частицы в определенное время и в определенном пункте пространства. Все законы атомной физики формулируются в таких вероятностных понятиях. Мы никогда не можем с достоверностью предсказать никакое атомарное явление, мы можем предсказать вероятность его возникновения»<sup>47</sup>.

Иными словами, в квантовой теории отдельное событие не всегда имеет точно определяемые причины. Например, переход электрона с одной орбиты на другую или распад частицы может произойти спонтанно. Мы можем лишь с определенной степенью вероятности предсказать, когда и где проявится то или иное субатомное явление. Законы атомной физики являются статистическими законами. «Сложился особый стиль мышления, который явился своего рода отрицанием стиля мышления классической физики с ее упором на жесткую, однозначную детерминированность любых процессов — и космического характера, и самых элементарных. Стиль мышления, основанный на квантовых моделях, существенно иной — понимание элементарных процессов не отделимо от случайности и вероятности. Именно вероятностный характер поведения микробъектов принципиален и весьма интригующ. Квантовый стиль мышления меняет сам подход к пониманию вероятности: на нее перестали смотреть глазами классики, напротив, вероятностный стиль стал рассматриваться как базисный, более общий, и с его позиции стали рассматриваться вопросы трактовки теории классической физики»<sup>48</sup>.

#### (7) Изменение роли научной картины мира и методологии научного исследования

В классической науке «идеалом было построение абсолютно истинной картины природы», «единственно истинной теории, «фотографирующей» исследуемые объекты». Для неклассической же науки характерно признание «относительной истинности теорий и картины природы, выработанной на том или ином этапе развития естествознания допускается истинность нескольких отличающихся друг от друга конкретных теоретических описаний одной и той же реальности, поскольку в каждом из них может содержаться момент объективно-истинного знания»<sup>49</sup>.

Картезианская картина мира, согласно которой мир анализируется по частям и затем упорядочивается в соответствии с каузальными законами, не приемлема, например, для квантовой реальности. Это, конечно, не означает, что она неприменима в других областях.

<sup>47</sup> Сапра Ф. Указ. соч., S. 83, 90–91.

<sup>48</sup> Сачков Ю. В. Вероятность, структура, нелинейность. В кн.: Философия физики элементарных частиц. М.: ИФРАН, 1995, с. 185–186.

<sup>49</sup> Степин В. С. Указ. соч., с. 179.

Эта детерминистская картина реальности непосредственно связана с представлением о функционировании природных процессов как о своеобразном часовом механизме. Такое представление применимо в механической технике, но не годится для описания переходных процессов, составляющих основу лазерной техники и квантовой электроники. Говоря о том, что все тела в природе состоят из атомов, а атомы — из более мелких частиц иного уровня, мы фактически создаем иную картину мира, который не может быть разложен на отдельные изолированные части. И то и другое представление — это лишь различные идеализации с ограниченной сферой применения, постепенно формирующие идею об исторической изменчивости научного знания, зависимости от культурных особенностей исторической эпохи.

В новой парадигме физической науки потребовалось существенно изменить основополагающие понятия и представления классической науки, например пространства и времени, которые понимаются уже не как абсолютные, а как относительные, отнесенные к наблюдателю. «Современная физика преобразовала картину универсума как машины в видение нерасчлененного динамического целого, части которого находятся во взаимодействии друг с другом ...» Теория относительности и квантовая механика показали, что основополагающие структуры материи могут быть поняты лишь в их динамической связи — движении, взаимодействии и превращении. Кроме того, современная научная картина мира приобретает общекультурный смысл, «активно участвует в поисках мировоззренческих ориентиров, определяя стратегии современного цивилизационного развития»<sup>50</sup>. Это приводит к возрастанию значения для научных исследований философско-методологической рефлексии, поскольку в современной науке ученый часто непосредственно обращается к общенаучной картине реальности, осуществляя перманентный анализ методологических оснований научного исследования.

(8) Тесная связь теоретического исследования не только с экспериментом, но и с техническим применением

Именно современная неклассическая физика продемонстрировала огромное влияние, которое может оказать математизированное естествознание на технические приложения. Использование математических средств для решения теоретических задач в научно-технических дисциплинах и приоритетное финансирование привлекают к участию в них представителей естественнонаучных и математических дисциплин, «попутно» делающих вклад в их развитие.

Например, в США до второй мировой войны инженерное образование преимущественно ориентировалось на практическую, а не теоретическую подготовку инженеров; во время войны возникли новые области техники (техника сантиметровых волн,

---

<sup>50</sup> *Степин В. С., Кузнецова Л. Ф.* Научная картина мира в культуре техногенной цивилизации. М.: ИФРАН, 1994, с. 254.

импульсная и компьютерная техника и др.), в которых практический опыт не компенсировал теоретических знаний и основной вклад в их развитие сделали физики. Они не имели опыта работы в области техники, но были довольно основательно подготовлены в теоретической физике и математике. Достаточно привести пример развития ядерной физики, приведшего к практически техническим результатам как в военной сфере, так и в использовании атомной энергии в мирных целях. В атомной энергетике эксперимент перерастает в отрасль промышленности, да и сам эксперимент представляет собой сложнейшую область не только науки, но и техники. Связь теоретической науки с промышленностью, инженерными приложениями является благотворной не только для техники, но и для самой науки. Другой очевидный пример — космические исследования и космическая техника.

За последние десятилетия в сфере научно-технических дисциплин произошли существенные изменения, позволяющие сделать вывод о становлении качественно нового неклассического этапа их развития. Этот этап характеризуется новыми формами организации знаний, направленными на повышение эффективности и результативности научной деятельности, более жесткой ориентацией современной науки на решение разнообразных практических (в том числе инженерных) задач, для чего требуется привлечение специалистов различных отраслей науки и практики. В то же время инженерные методы, проектные установки и методические приемы работы проникают в сферу науки, преобразуя традиционные нормы и идеалы научного исследования. К такого рода новым неклассическим научно-техническим дисциплинам можно отнести, например, кибернетику, системотехнику, системный анализ и др.

#### *Особенности неклассических научно-технических дисциплин, отличающие их от классических технических наук*

(1) Прежде всего — это *комплексность* теоретических исследований, в какой бы форме они ни проводились и каким бы способом они ни формировались. Развиваясь нестандартным путем, неклассические научно-технические дисциплины отличаются от классических технических наук тем, что в последней теория формировалась под влиянием определенной базовой естественнонаучной дисциплины, и именно из нее первоначально заимствовались теоретические средства и образцы научной деятельности. Многие современные научно-технические дисциплины не имеют такой единственной базовой теории, так как ориентированы на решение комплексных научно-технических задач, требующих участия представителей многих научных дисциплин (математических, технических, естественных и даже общественных наук), группирующихся вокруг одной проблемной области. В то же время в них разрабатываются новые специфические методы и собственные средства, которых нет ни в одной из синтезируемых дисциплин и которые специально приспособлены для решения данной комплексной научно-технической проблемы.

Классическое выражение стремления к комплексному описанию – Французская энциклопедия (компендиум всех существовавших тогда наук и ремесел), попытка собрать все имеющиеся в мире знания и ознакомить с ними и современное, и последующие поколения людей. Этот проект, по словам Дидро, должен был разрушить барьеры между ремеслами и науками. Однако такого рода попытки независимо от претензии на научное описание являлись по сути дела лишь рациональным обобщением на уровне здравого смысла. Сегодня возникает качественно новая задача, поскольку речь идет о комплексности прежде всего теоретических исследований, ставших весьма многочисленными и разнородными именно в течение XX в.

(2) Однако синтез разнородных знаний, теоретических представлений и методов предусматривает решение сложной задачи координации, согласования, управления и организации различной деятельности, направленной на решение комплексной научно-технической проблемы. Поэтому объектом комплексного исследования в современных научно-технических дисциплинах будет уже не традиционный объект, хотя и достаточно сложный, а качественно новый — *деятельностный*.

Например, эргономика связана с исследованием и проектированием трудовой деятельности в человеко-машинных системах и включает в себя два блока знаний: знание об объекте (т. е. о трудовой деятельности) и знания о том, как исследовать и проектировать этот объект (т. е. также о деятельности). Объектом системного анализа также является деятельность, так как она представляет собой совокупность научных методов и практических приемов решения разнообразных проблем, возникающих в целенаправленной (прежде всего в управленческой и исследовательской) деятельности, т. е. комплексный подход к ее организации. Даже кибернетика, которая первоначально была ориентирована на машинизированное представление технических систем, постепенно становится наукой о моделях человеко-машинных систем.

(3) Ситуация, сложившаяся в современных научно-технических дисциплинах, во многом напоминает изменения в экспериментально-измерительной деятельности, характерные для неклассической физики и связанные с так называемым парадоксом неизмеримости. Аналогичная ситуация наблюдается и в современной инженерной деятельности, имеющей целью создание сложных человеко-машинных систем и характеризующейся следующими особенностями:

основным в ней становится эволюционное системное проектирование, не прекращающееся при создании системы: поскольку система может устареть еще до ее создания, в проекте должны быть предусмотрены ее возможные будущие модификации;

в проекте сложной человеко-машинной системы невозможно заранее учесть все параметры и особенности ее функционирования (можно лишь предсказать их с определенной степенью вероятности), поэтому в современной инженерной деятельности становится необходимой особая деятельность внедрения;

деятельность использования и деятельность создания и совершенствования таких систем становятся как бы неразрывно связанными с самими этими системами.

Наиболее ярко эта тенденция проявляется в сфере социально-инженерных разработок.

Например, градостроительное проектирование использует знания целого ряда социальных и технических дисциплин для создания специфических деятельностных систем. Особо острой становится проблема включения таких систем в окружающую социальную среду. Создаваемая градостроительная система должна постепенно вписываться в окружающую среду. Однако в данном случае речь идет не о проектировании заново, а о развитии, совершенствовании такой системы, постепенном подведении ее к заложенному в проекте состоянию. При этом и сама окружающая среда постепенно становится объектом проектирования.

Таким образом, *возмущающим воздействием исследования и проектирования* здесь уже *невозможно пренебречь*, его необходимо специально учитывать, поскольку и объект проектирования (исследования), и проектировщик (исследователь) имеют однопорядковую деятельностную сущность.

(4) Одной из характерных черт современных научно-технических дисциплин является *переход к вероятностным представлениям и статистическим обоснованиям*.

Например, развитие статистической радиолокации представляло собой как раз разработку такой обобщенной теоретической схемы, которая установила бы основные закономерности и критерии качества любых радиолокационных систем, привела к развитию вероятностного подхода к решению ее задач, к разработке на ее основе новых методов обработки и синтеза сигналов. Задача выделения сигнала в шумах является статистической и может быть решена только методами теории вероятностей. Прием сигналов стал рассматриваться как статистическая задача сначала в радиолокации, а затем и в радиотехнике. Таким образом, в теоретической радиолокации сформировались два слоя взаимно скоррелированных теоретических схем, отражающих соответственно электродинамические процессы и их статистические модели.

(5) Подобно тому, как в неклассической физике все большее значение придается методу математической гипотезы и идеализированным экспериментам, в современных научно-технических дисциплинах определяющую роль начинают играть *проектирование и имитационное моделирование на ЭВМ*, позволяющие заранее, в форме идеализированного (машинного) эксперимента, проанализировать и рассчитать различные варианты возможного будущего функционирования сложной системы.

В алгоритмических языках имитационного моделирования, наиболее часто применяемых для этой цели, концептуальный каркас и системный образ объекта детерминированы соответствующей математической теорией (теорией множеств, теорией массового обслуживания, математической статистикой и др.). Словесное описание на этом языке (проблемно ориентированное на определенную предметную область) моделируемой системы автоматически переводится в машинную кодовую модель. Далее осуществляются экспериментирование с моделью на ЭВМ (как с особым идеальным объектом), предсказание поведения объекта для различных условий (генерация вариантов модели и выбор наиболее пригодных для данных условий). При этом промежуточные интерпретации,

как правило, опускаются. Таким образом, при имитационном моделировании на ЭВМ система представляется первоначально в виде поточной схемы. Затем это описание трансформируется в соответствующую функциональную схему, которая подвергается ряду эквивалентных преобразований (движение на теоретическом уровне — дедуктивный вывод). Наконец, полученный результат (а если необходимо, то и некоторые промежуточные результаты) интерпретируется, т. е. переводится обратно в модус поточной схемы. Другими словами, в алгоритмических языках имитационного моделирования заданы процедуры перехода от функциональных к поточным описаниям и операции эквивалентного преобразования функциональных схем. Поточная схема может быть реализована далее в виде конкретной структурной схемы проектируемой (исследуемой) системы.

Поэтому современный имитационный эксперимент коренным образом отличается от эксперимента в классической естественной науке, основная цель которого — воспроизведение в материализованном виде идеализированных экспериментальных ситуаций для подтверждения отдельных следствий из общих теоретических положений.

(6) Условием решения комплексных исследовательских и проектных задач является *целостное представление* исследуемой и проектируемой сложной системы. Для этого в первую очередь используется имитационное компьютерное моделирование, получившее широкое распространение в различных областях науки и техники. Имитация функционирования системы позволяет уже на ранних этапах проектирования представить систему как целостный объект. Анализируя такую модель, можно сделать научно обоснованный выбор отдельных компонентов, принимая во внимание их взаимосвязь и взаимное функционирование, учесть различные факторы, влияющие на систему в целом и условия ее функционирования, выбрать наиболее оптимальную структуру и наиболее эффективный режим ее работы. Без использования современной вычислительной техники невозможно учесть все многочисленные данные о сложной системе в силу их разнородности. Автоматизация имитационного моделирования расширяет возможности исследователя и проектировщика в области прогнозирования поведения системы в меняющихся условиях и выбора адекватных этим условиям проектных решений.

(7) Одна из наиболее важных с точки зрения философии особенностей современных научно-технических дисциплин — их явно выраженная *методологическая ориентация*. В рамках этих дисциплин осуществляются конкретные методологические исследования (зачастую предусматривающие практическое применение посредством методических разработок и проектирования). Более того, методические знания являются частью технической теории, а иногда даже замещают ее (т. е. методология в современных научно-технических дисциплинах может выступать в функции теории) ввиду неразработанности общих теоретических средств, особенно на первых этапах развития этих дисциплин, поскольку не существует образцов или прецедентов такого комплексного исследования, а трансляция их из других сфер возможна только после предварительного анализа. Это значительно повышает роль и ответственность методологии науки применительно к данным конкретным методологическим исследованиям.



(8) Поскольку все комплексные научно-технические дисциплины имеют деятельностный объект исследования и проектирования, возникает *проблема совмещения системных и деятельностных представлений*. (В системотехнике, например, это выражается в необходимости совмещения структурной и алгоритмической схем одной и той же системы в едином описании.) Это обуславливает и специфику идеальных объектов второго уровня (идеальные объекты первого уровня относятся к комплексизируемому в данной дисциплине отдельным исследованиям); в них неразрывно переплетены объектные и деятельностные представления, объект как бы сливается с деятельностью его проектирования, совершенствования и использования.

(9) В отличие от классических технических наук, которые предметно ориентированы на определенный класс технических систем (механизмов, машин, радиотехнических устройств, радиолокационных станций и др.), комплексные научно-технические дисциплины *проблемно ориентированы* на решение комплексных научно-технических задач определенного типа: системотехнических, эргономических, градостроительных, дизайнерских и др. (хотя объект исследования в них может частично совпадать). Это разграничение на классические и неклассические научно-технические дисциплины коренится в развитии самой инженерной деятельности и проектирования.

(10) Аналогию между неклассическими естественнонаучными и научно-техническими дисциплинами можно провести, рассмотрев роль в них научной картины мира. Современные неклассические научно-технические дисциплины, включая в себя сложную совокупность различных типов знания и методов и опираясь на множество разных дисциплин, используют их для решения специфических комплексных научно-технических проблем, нерешаемых ни в одной из этих дисциплин в отдельности. Поэтому первым условием эффективной организации теоретического исследования в них является необходимость реконструкции той единой действительности, в которой возможны соотнесение всех частных подходов и особое целостное видение объекта исследования (и проектирования). При этом поскольку эти дисциплины имеют дело с множеством теоретических представлений, выполняющих функцию частных теоретических схем по отношению к комплексному теоретическому исследованию, формирование неклассической технической теории начинается сразу с разработки обобщенной теоретической схемы. В связи с тем, что такая базовая теория, как правило, отсутствует, она транслируется из методологической сферы (конечно, с последующей модификацией и конкретизацией). Функцию базовой теории по отношению к современным научно-техническим дисциплинам выполняют чаще всего системный подход и общая теория систем, имеющие общенаучный статус. Иногда в этой функции используются кибернетические представления и понятия.

Пример такого изменения парадигмы научного и инженерного мышления – радиолокационная системотехника, заменяющая электродинамическую картину мира системно-

кибернетической. Радиолокация попадает в новое семейство научно-технических дисциплин, имеющих системную ориентацию. Применение в радиолокации концептуального и математического аппарата теории информации и кибернетики позволило перейти к анализу так называемой тонкой структуры сложного сигнала независимо от его конкретного вида.

Таким образом, в настоящее время сформировался целый блок научно-технических дисциплин, имеющих общую *системную ориентацию*, создающую относительно них особую плоскость объективации искусственно создаваемых сложных систем. В такой фундаментальной теоретической схеме задается специфическое видение объекта исследования и проектирования. Кроме того, системная картина мира (или системная онтология) выполняет функцию методологического ориентира (для различных современных научно-технических дисциплин) в выборе теоретических средств и методов решения комплексных научно-технических задач, дает возможность транслировать их из смежных дисциплин или методологической сферы. Она является также методологическим ориентиром для конструирования сложных идеальных объектов современных научно-технических дисциплин, их последующего имитационного моделирования и интерпретации, т. е. позволяет экстраполировать накопленный в данной дисциплине опыт на будущие проектные ситуации. В системотехнике системная картина мира несколько иная, чем в кибернетике, системном анализе или эргономике, но все же остается системной фундаментальной теоретической схемой.

### ***Современные комплексные (неклассические) научно-технические дисциплины: их природа и сущность***

За последние три десятилетия в сфере научно-технических дисциплин произошли существенные изменения, которые позволяют говорить о становлении нового неклассического этапа в их развитии. Формируются новые способы организации научных знаний и исследований, направленные на повышение эффективности и результативности научной деятельности, в которую вовлекаются специалисты самых различных сфер и отраслей. Все это предопределяет более жесткую ориентацию современной науки на решение разнообразных практических проблем, прежде всего научно-технических. В то же время проектные установки и инженерно-технические методические приемы работы все более глубоко проникают в сферу «чистой» науки, коренным образом преобразуя традиционные нормы научного исследования и его ценностные ориентации. Возникают новые научно-технические дисциплины, использующие системные представления, методы и понятия для решения своих специфических проблем (кибернетика, системотехника, системный анализ, эргономика и др.). Такие дисциплины часто не соответствуют существующему методологическому стандарту научного исследования, но это не означает, что они не могут претендовать на статус научных дисциплин. Скорее,

наоборот, устаревшие методологические представления должны быть модифицированы с учетом новых явлений в реальной научной деятельности.

Выдвижение в ней нового образа науки, иного эпистемологического идеала не означает, что традиционные сферы научного исследования и инженерной практики постепенно отмирают или перестают выполнять свои функции. В определенных рамках они продолжают довольно эффективно функционировать и решать конкретные научные проблемы и технические задачи, но очень важно представлять себе, каковы эти рамки и налагаемые ими ограничения. Многие классические науки, используемые при решении новых исследовательских и проектных задач, меняют свой облик, трансформируются для решения этих задач. С этим процессом связано и осознание проектирующей, программирующей роли науки в целом по отношению к практической деятельности.

Трансформация современного научного и инженерного мышления, выход его в сферу социальной практики неизбежно приводят к разрушению барьеров между гуманитарными, инженерными и естественнонаучными методами познания и действия, между общественными, естественными и техническими науками. В результате появляется целый класс новых научно-технических дисциплин — эргономика, системотехника, системный анализ, дизайн систем, градостроительное проектирование и др., в профессиональном сознании представителей которых и формируется альтернативный традиционному образ науки. Попытаемся эксплицировать этот новый эпистемологический идеал построения научного знания и технического действия в качестве некоего «усредненного» целостного образа или программы. Новые тенденции, о которых здесь идет речь, характерны для современной науки в целом, в том числе и для многих дисциплин, которые никак не могут быть причислены к научно-техническим, например науководения или медицины. Однако эти тенденции наиболее ярко проявляются в выделенном нами семействе системно ориентированных дисциплин.

Представитель той или иной комплексной научно-технической дисциплины выполняет сразу несколько профессиональных ролей.

Например, в дизайне систем он, во-первых, выступает как исследователь и действует в соответствии с нормами научно-теоретической деятельности. Во-вторых, ему приходится выполнять функции проектировщика и методиста и рассматривать продукт своей деятельности как особого рода проект. В-третьих, он является художником, наследующим и эстетически преобразующим все достижения предшествующей художественной культуры в целях создания нового произведения искусства. Однако он вынужден также, не отождествляя себя полностью со всеми перечисленными ролями, осознавать себя в качестве дизайнера вполне определенного профессионального сообщества. Он должен воспринимать объект и процесс собственной деятельности как единое целое, т. е. как единую систему и целостную деятельность — дизайн систем. Эта многоликость и в то же время единство профессиональных ролей приучает его мышление к внутреннему диалогу и рефлексии, необходимости постоянно занимать «взаимствованные позиции» участников кооперации, разрушает традиционные для классического

естествознания и технической науки монологичность и монотеоретичность, стирает грани между исследованием и проектированием, получением знаний и их использованием. В результате формируется новый неклассический тип исследования и проектирования – комплексное исследование и системное проектирование.

Гуманитарная направленность современных комплексных научно-технических дисциплин вызывает необходимость изменения профессионального взгляда на мир, смены идеалов и норм научно-технического познания. Каждая отдельная исследовательская позиция рассматривается теперь как принципиально ограниченная и односторонняя, а отождествление с ней автоматически выводит исследователя из данного дисциплинарного сообщества — например, в эргономике он становится либо просто психологом, либо гигиенистом и т. д., но не эргономистом. Поэтому его профессиональная позиция по своей сути является системной, хотя и не всегда осознается как таковая. Кроме того, она обязывает его быть одновременно и методологом, постоянно осуществлять методологическую рефлексию собственной синкретической деятельности, поскольку ни объект исследования или проектирования (сложная система, которая является часто целостной лишь в представлении самого исследователя или проектировщика), ни сама деятельность, выполняемая разными специалистами, ни какая-либо одна научная теория, как в классической науке, не позволяют собрать воедино все отдельные части, аспекты и позиции. Это возможно только на метатеоретическом или методологическом уровне. А без такого целостного системного представления невозможна и реальная практическая кооперация тех, кто принимает участие в исследовании или проектировании данной сложной системы.

Такая сложная система является не материальной, как объект исследования классической естественной науки или продукт традиционной инженерной деятельности, а лишь умозрительной.

В сложных человеко-машинных системах зримыми оказываются составляющие их элементы (люди, работающие с техникой, сама техника, каналы связи и др.), целостный же образ системы ускользает даже от тех, кто занимается ее эксплуатацией, если они не знакомы с проектом, т. е. идеализированным представлением информационных потоков, их перераспределением и обогащением в результате внедрения данного проекта. Точно так же и в градостроительном проектировании жизненное пространство жилого района, людские потоки и размещение элементов бытового обслуживания остаются вне поля зрения до начала функционирования этой сложной системы. Видны лишь строения, дороги и зеленые насаждения, но это не значит, что они существуют реально, а людские потоки и т. д. — нет. Они принадлежат лишь к иным — социальным и психологическим реалиям, которые не регистрируются с точки зрения традиционной инженерной позиции, основывающейся на знаниях и представлениях лишь классической естественной науки.

Именно поэтому представители современных неклассических научно-технических дисциплин придают большое значение методологии, и прежде всего системному подходу, из которого черпают основные понятия и представления. Однако чаще всего их не удовлетворяет степень разработанности этих понятий и представлений,

необходимая для решения конкретных научно-технических задач, и они сами вынуждены становиться методологами и достраивать недостающие теоретические схемы и картины мира.

К комплексному теоретическому исследованию неприменимы многие понятия и представления традиционной методологии науки. Например, проблема интерпретации полученных теоретических результатов здесь просто не возникает, поскольку их адекватность проверяется непосредственно в инженерной деятельности, в процессе их практической реализации. Поэтому результаты и фиксируются зачастую в форме рецептурного знания в виде особых методических рекомендаций, прецедентов, программ и т. д., описывающих и предписывающих определенные акты деятельности. К ним относятся:

- описания, фиксирующие отдельные акты деятельности, которые выступают как образцовые и являются предписаниями к еще неосуществленной деятельности аналогичного типа;

- рецептурные знания;

- списочные структуры (справочники, каталоги, перечни и т. д.), фиксирующие знания, относящиеся к объекту исследования и проектирования.

Однако все это является не просто готовыми рецептами предстоящей научно-технической деятельности, а одновременно теоретико-методологической рефлексией.

Стандартные теоретические средства, заимствованные из других наук, трансформируются и развиваются, дорабатываются в соответствии с характером решаемых конкретных научно-технических задач. В результате формируются качественно новые области исследования, в которых неразрывно связаны научно-теоретические и инженерно-практические аспекты. То, что получается в процессе и в результате такого применения, уже не является прикладным разделом какой-либо математической, физической, экономической или иной теории, а творчески переработано и органически включено в структуру новой комплексной дисциплины. Такой областью стала, например, в исследовании операций теория управления запасами, которая возникла в результате соединения абстрактного моделирования процесса формирования запасов с прагматическими разработками способа их определения<sup>51</sup>.

На основе обобщения частных схем, с одной стороны, и конкретизации системных представлений и понятий (универсальных относительно данного семейства комплексных научно-технических дисциплин), с другой стороны, постепенно вырабатываются специфические обобщенные концептуальные схемы деятельности новой комплексной дисциплины. В этих схемах фиксируются образцы, эталоны, прототипы объекта исследования и проектирования, т. е. его особые модельные представления и оперативные правила применения этих представлений для решения конкретных научно-технических задач.

---

<sup>51</sup> Исследование операций. В 2 т. Т. 1. М.: Мир, 1981.

Однозначно разграничивать в комплексном исследовании субъект и объект, как это предполагалось в классической науке, часто просто невозможно. Субъект, исследующий и проектирующий объект, одновременно вынужден постоянно анализировать и организовывать собственную деятельность, т. е. и самого себя делать объектом собственного исследования. В то же время объектом исследования оказывается уже не традиционный объект, а особый субъект, точнее, его деятельность, в которую могут быть включены и машинные средства, и природные объекты. В этом выражаются гуманистическая направленность данных дисциплин, невозможность рассмотрения человеческой деятельности в качестве идеального объекта классической естественной науки, т. е. без учета субъективного фактора.

Постоянное обсуждение неправомерности постановок проблем, обращение к истории науки, искусства, культуры за образцами, их переосмысление, анализ методологических оснований комплексного исследования является здесь не следствием незрелости, не индикатором расхождения с идеалом «строгой» науки, а нормальным и даже необходимым состоянием. Именно синтез различных точек зрения, в том числе и ставших достоянием истории, обеспечивает бурное развитие этих дисциплин, их специфику и самобытность комплексизируемых в них теорий. Поэтому комплексные дисциплины не могут появиться традиционным образом — отпочковываясь в виде все новых исследовательских направлений и областей исследования от какой-либо базовой естественнонаучной или научно-технической дисциплины. Они формируются в результате широкого научного движения (в частности, системного), конкретизации и доработки общих методологических (например, системных) понятий и представлений, а также обобщения на их основе практики применения научных знаний различных теорий в процессе решения определенных научно-технических задач.

В начале XX в. проектирование стало самостоятельным видом инженерной деятельности. В отличие от конструирования, задача которого — разработка конкретной морфологии изделия и технологии его изготовления (опытного образца как прототипа изделия), проектная деятельность имеет дело с идеализированными представлениями. Особенно так называемое внешнее проектирование, целью которого является проработка общей идеи системы, тесно сливается с комплексным исследованием, поскольку, с одной стороны, должно охватить в целом будущую сложную систему, с другой стороны — оценить функционирование аналогичных систем, с третьей стороны — обследовать объект проектирования. В последнем случае изучается существующая система деятельности, подлежащая реорганизации и заменяемая новой (проектируемой) системой. В результате проектирования выделилось из инженерной деятельности в самостоятельную область деятельности, которая завершается внедрением проекта. Инженерная деятельность включается в такого рода проектную деятельность при создании машинных компонентов. Выход проектирования в сферу социально-технических и социально-экономических разработок привел к кризису традиционного инженерного мышления,

ориентированного на приложение знаний лишь естественных, математических и технических наук к созданию относительно простых технических систем, способствовал появлению системного проектирования, направленного на создание сложных систем.

Системное проектирование — это проектирование не просто технических систем, а систем человеческой деятельности (систем управления, обслуживания и др.). Речь идет уже не об изготовлении на производстве, а о внедрении, а само системное проектирование тесно связывается с реорганизацией деятельности — подразумевается не создание отдельных технических систем, а проектирование всей системы деятельности, в которую они включаются (обслуживание, управление, эксплуатация и др.), а также организация самой деятельности по созданию сложной системы. Поэтому объектом комплексного исследования и системного проектирования будет «деятельностный объект», имеющий следующие особенности: во-первых, объектом исследования и организации становится сама деятельность, направленная на создание и обеспечение функционирования сложной системы («проектирование проектирования»), и, во-вторых, данный «объект», будучи созданным, не только включается в человеческую деятельность, как удовлетворяющий определенную потребность, но и замещает собой эту деятельность.

Системное проектирование становится эволюционным проектированием, поскольку предполагает корректировку проектных решений в процессе отладки и внедрения системы в соответствии с изменениями социальных, экономических, природных, технических и других условий. Поэтому окружающая среда рассматривается в нем как особый элемент проектируемой системы и становится также объектом проектирования. Кроме того, зачастую невозможно предсказать последствия, к которым может привести такого рода проектирование. Речь в данном случае скорее идет не о проектировании заново, а о развитии, совершенствовании системы, постепенном ее подведении к заложенному в проекте состоянию.

Системное проектирование — это проектирование без прототипов и ориентировано на реализацию идеалов, формирующихся в методологической сфере. Его можно охарактеризовать как особое «проектное движение», в которое вовлечены различные типы деятельности. В роли проектантов могут выступать и ученые. Современное системное проектирование тесно связано с исследованием, прогнозированием, планированием, управлением и организационной деятельностью, которые не только трансформируются, но и существенно модифицируют проектирование, по-прежнему, однако, отдающее приоритет конструктивным задачам. В то же время в отличие от традиционного инженерного проектирования системное проектирование «само становится источником формирования проектной тематики и вступает тем самым в сферу культурно-исторической деятельности, становится культурно-историческим проектированием»<sup>52</sup>.

<sup>52</sup> Проблемы теории проектирования предметной среды. Труды ВНИИТЭ, вып. 8. М., 1974, с. 52–53.

Системное проектирование характеризуется также использованием гуманитарных методов познания, радикально трансформирующих его по сравнению с традиционным инженерным проектированием. Важной его особенностью становится уникальность объекта проектирования. В классической инженерной деятельности исследуется и проектируется типовая техническая система, которая может тиражироваться во многих экземплярах, поэтому для ее исследования могут применяться типовые методы и расчеты, способы идеализированного представления. Сложные системы являются уникальными, и типовых способов их создания не существует. Они создаются в одном экземпляре, и в процессе их разработки используются самые разнообразные методы, средства и представления, сочетание которых также уникально. Данный принцип, который можно назвать принципом индивидуализации, является важной отличительной чертой гуманитарного мышления и исследования, в котором каждое (например, историческое) явление рассматривается как уникальное, неповторимое, и лишь затем вычленяются типичные его черты. Особенностью гуманитарного мышления являются его диалогичность, одновременная разработка взаимодополнительных и даже конкурирующих концепций на одном и том же материале — и в системном проектировании подчеркивается необходимость сравнительного анализа альтернативных вариантов программ, проектов, моделей и планов. Для одной и той же уникальной сложной системы строится несколько возможных теоретических представлений. Еще один важный принцип гуманитарного мышления — принцип историзма, т. е. постоянное обращение к истории дисциплины, рассмотрение исторической эволюции не только объекта исследования, но и идей о нем. Для многих современных научно-технических дисциплин характерно появление новых проблем, требующих не только исследования с исторической точки зрения, знания истории многих смежных научных дисциплин, но и поиска образцов, образов, концептуальных схем в культурном наследии человечества в целом — в философских, психологических и даже мифологических концепциях прошлого. Такое отношение к истории является следствием рефлексивности современных неклассических комплексных дисциплин, их направленности на осознание собственной деятельности, методологичности, постоянного обсуждения в них правомерности формулирования различных проблем и способов их решения.

Необходимость управления сложным процессом системного проектирования приводит к тому, что и сама схема проектной деятельности начинает рассматриваться как своеобразный проект. Однако описание и исследование проектной и управленческой (а в более широком плане и вообще человеческой) деятельности в конечном счете приводят к изменению исходной инженерно-проектной установки, которая переформулируется как задача реорганизации существующей человеческой деятельности, а проект становится методическим предписанием к осуществлению этой деятельности, ее программой.

Проектная установка оказывает влияние и на изменение приоритетов комплексного исследования, способствует формированию



отношения к научному знанию не только как к знанию о чем-то, но и как к средству деятельности. Сам объект комплексного исследования дан первоначально лишь в виде компьютерной имитационной модели, воспроизводящей в той или иной форме функционирование будущей системы, т. е. замысел проектировщика. Система еще не создана, а только проектируется, но в начале любого проектирования мы должны исследовать эту систему, анализируя имитационную модель, а не только обследовать место ее применения. Поэтому объект комплексного исследования и системного проектирования дан первоначально лишь в этой имитационной модели.

Комплексное исследование и системное проектирование имеют общий продукт — проект сложной системы, поэтому они являются неразрывными составными частями любой комплексной научно-технической дисциплины, независимо от того, какой из этих двух аспектов вынесен в ее название. В градостроительном проектировании комплексное исследование играет не меньшую роль, чем системное проектирование в системном анализе, основой которого является не только теоретическое исследование слабоструктурированных проблем, возникающих прежде всего в сфере управленческой деятельности, но и организационное проектирование, связанное с совершенствованием, развитием и перестройкой структур управления организациями.

Комплексные научно-технические дисциплины проблемно ориентированы на решение комплексных научно-технических задач определенного типа, а не на определенный класс технических систем. Ситуация в данном случае коренным образом отличается от первых этапов становления науки, когда рецептурные знания, методики расчетов, технологические схемы были предпосылкой становления науки. В современных комплексных научно-технических дисциплинах рецептурное знание уже не находится вне теории, а, напротив, переплетается с ней. Однако это исследование не является таким теоретически однородным и четко иерархически структурированным, как в классических естественных и технических науках, и скорее представляет собой совокупность разнородных элементов и теоретических представлений различных научных дисциплин и рецептурно-технологических схем практической деятельности. В то же время все это воспринимается как идеальный план деятельности, обособленный от процесса ее осуществления, как идеальное бытие. Ведь проектирование (особенно системное) в отличие от технической деятельности — это всегда оперирование с особыми идеализированными представлениями и схемами.

Кроме того, само рецептурно-технологическое описание и предписание к осуществлению исследовательской и проектной деятельности становится в этом случае особым идеализированным представлением процедур этой деятельности.

Например, при имитационном моделировании на ЭВМ или автоматизации инженерных расчетов они должны быть зафиксированы в виде обобщенного алгоритма или программы. Записанные на каком-либо языке программирования эти процедуры иссле-

довательской и проектной деятельности могут быть введены в компьютер и выполнены автоматически. Эта установка проникает сегодня и в классические технические науки под влиянием неклассического образца построения научно-технического знания.

Прежде всего при автоматизации проектирования и конструирования требуется предварительное описание обобщенных алгоритмов инженерных расчетов и процедур анализа и синтеза, например кинематических схем механизмов или электрических схем электротехнических устройств, т. е. необходим анализ собственной исследовательской и проектной деятельности<sup>53</sup>.

Это приводит даже к стремлению разработать на основе анализа проектной деятельности в какой-либо традиционной инженерной области (например, конструирование механизмов и машин) универсальную теорию проектирования, основная задача которой — подготовка к автоматизации этой деятельности. Ядром такой теории должна быть некая типовая, унифицированная часть, описывающая общий процесс проектирования и применимая к проектированию любых артефактов и дополненная с учетом соответствующей специализации. Причем, по мысли авторов, такая теория должна применяться в области не только компьютеров, но и человеческой деятельности<sup>54</sup>.

Итак, после многократного воспроизводства комплексного исследования и системного проектирования данного класса аналогичных научно-технических задач и проблем постепенно формируются:

- более или менее ограниченный, хотя и размытый, корпус научных знаний, способов и приемов их применения и методических (рецептурных) знаний, регламентирующих саму исследовательско-проектную деятельность в данной дисциплине, а также соответствующий им публикационный массив;

- специализированное и устойчивое профессиональное сообщество, имеющее собственные научные общества, институты, средства коммуникации, воспроизводства и т. д.;

- специфические методологические средства обобщенного описания и организации этих знаний и коммуникаций между членами данного профессионального сообщества, которых объединяет общая методологическая позиция и системная картина мира.

Дисциплинарная организация науки, таким образом, дополняется комплексными неклассическими научно-техническими дисциплинами, которые не могут быть отнесены ни к естественным, ни к техническим,

---

<sup>53</sup> Речь идет о применении общей теории проектирования к исследованию процесса проектирования в некоторых конкретных технических сферах, например в электротехнике и электронике при компьютерной поддержке. Chang S. A Scientific Approach Towards Developing an Engineering Design Theory. In: Proceedings ICED-90. Dubrovnik, 1990, pp. 61–67; Chang S., Hsu K.-C., Zhang S. Electrical Engineering Design as a Multistage Feedback Prozess. In: Proceedings ICED-90. Dubrovnik, 1990, p. 223–230.

<sup>54</sup> Grabowski H., et al. Universal Design Theory: Elements and Applicability to Computers. In: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop, Karlsruhe, Germany, May 1998. Ed. By Grabowski, S. Ryde, G. Grein. Aachen: Shaker Verlag, 1998, p. 209–220.

ни к общественным наукам и, несмотря на свою комплексность и междисциплинарность, не являются чисто междисциплинарными исследованиями хотя бы потому, что они сами организованы дисциплинарно. Комплексные научно-технические дисциплины уже имеют четкую дисциплинарную организацию, устойчивый публикационный массив и ограниченное профессиональное сообщество. Применительно ко всем этим дисциплинам можно констатировать рост публикационного массива, наличие учебников и целого ряда монографий. В них сформировалась (или формируется) обособленная от других дисциплин организационная система: лаборатории, отделы, институты, профессиональные сообщества, система подготовки научных кадров и т. п. Имеют место явно выраженные коммуникационные связи — посредством конференций, семинаров, симпозиумов (в том числе и международных), а также публикаций в специализированных журналах.

В качестве примера приведем системотехнику. Сам термин «системотехника» (от англ. *Systems Engineering*) стал применяться в начале 50-х гг. XX в., хотя это направление возникло еще в 30-х гг. В США это было связано с корпорацией «Белловские телефонные лаборатории», а в СССР — с исследованиями по комплексной автоматизации производства. В истории становления системотехники как особой области научно-технического знания и инженерной деятельности можно выделить два основных периода. Первый период (от последних лет второй мировой войны до 50-х гг.) характеризуется интенсивным развитием системотехники как сферы инженерной деятельности. В это время создаются первые крупные системотехнические проекты (противовоздушной обороны, ирригационных систем и др.) и особые системотехнические группы, задачей которых является организация разработки данных проектов. Во второй период (примерно с 1953 г. и до настоящего времени) происходит становление системотехники как области научно-технического знания. Выходят в свет статьи, справочники, монографии и учебники, количество которых постоянно растет. Эти работы, как правило, носят междисциплинарный характер — публикуются работы специалистов разнообразных областей науки и техники. Каждый из них по-своему трактует содержание и смысл системотехники, однако ее общей методологической основой все они признают системный подход. В этих работах в той или иной мере затрагиваются методологические вопросы. Этот период можно разделить на следующие этапы:

1953–1959 гг. — публикуются первые статьи и проводятся первые обсуждения методов системотехники и ее статуса. Американским обществом радионженеров изданы специальные труды конференций. Вводится сам термин «системотехника». Появляются первые курсы по этой дисциплине в вузах (в 1953 и 1959 гг.). В 1957 г. выходит первая монография Г.Х. Гуда и Р.Э. Макола. В том же году в американском библиографическом издании «Engineering Index» вводится графа «Системотехника»;

1960–1963 гг. — в 1960 г. появляется статья «Системотехника» в «Энциклопедии по науке и технике» (*Encyclopedia Science and Technology*, N.Y.: McGraw-Hill, 1960, vol. 13). Проведены три конференции по системотехнике (1960, 1961, 1962 гг.) и изданы их материалы. Издано пять монографий (в основном в 1962 г.). Объем литературы по методологическим вопросам системотехники увеличился вдвое по сравнению с первым этапом;

1964–1968 гг. — в 1965 г. выходит первый номер журнала, специально посвященного проблемам системотехники (*IEEE Transactions on Systems Science and*

Cybernetics, 1965, № 1, переименованный в 1971 г. в *IEEE Transactions on Systems, Man and Cybernetics*)<sup>55</sup>. С 1966 г. читатели главы «Системотехника» в «*Engineering Index*» не просто отсылаются к другим разделам издания, но им предлагается список специальных работ с краткой аннотацией. Выпущено 10 монографий (в 1965, 1966 и 1967 гг.);

- 1969–1973 гг. — появилось столько же публикаций по методологии системотехники, сколько за все предыдущие этапы вместе взятые. Проведены семинары и конференции в СССР. Специальные курсы по системотехнике читаются во многих вузах страны. В 1970 г. организована кафедра системотехники в Московском энергетическом институте. В том же году в Ленинграде состоялся 1-й Всесоюзный симпозиум по проблемам системотехники;

- 1974–1978 гг. — более детальная разработка отдельных средств и методов системотехники, ее проникновение в смежные области (например, медицинская системотехника). Дальнейшая разработка теоретических основ системотехники, прежде всего в плане так называемого структурного анализа сложных систем. Именно в этот период появляются дисциплинарные хрестоматии, учебные пособия и научно-популярные издания. Достаточно отметить, что с 1974 г. только в СССР опубликовано более 30 монографий по системотехнике и больше половины из них — учебники. Можно констатировать, что системотехника как особая самостоятельная научно-техническая дисциплина уже сформирована и представляет собой развивающуюся область, свидетельством чего является постоянный рост числа публикаций<sup>56</sup>. На основании этого можно сделать вывод, что к концу 70-х гг. XX в. системотехника уже переросла рамки не только отдельного исследовательского направления, но и области исследования.

Дисциплинарная организация всех комплексных неклассических научно-технических дисциплин формируется примерно одинаково.

*В первый период* развивается практическая сфера научно-технической деятельности: появляются первые дизайнерские, системотехнические, эргономические и другие проекты и особые группы, их осуществляющие и разрабатывающие; *во второй период* происходит становление соответствующей области научно-технического знания, характеризующееся формированием публикационного массива данной дисциплины. Количество публикаций растет в связи с необходимостью передачи практического опыта и подготовки специалистов. Эти работы носят, как правило, междисциплинарный характер: на страницах сборников публикуются статьи специалистов самых различных областей науки и техники, в которых обязательно затрагиваются методологические вопросы, касающиеся этих дисциплин.

Второй период развития комплексных научно-технических дисциплин представляет особый интерес для методологического анализа. В нем могут быть выделены следующие этапы (каждый с интервалом примерно 5 лет).

*На первом этапе* публикуются первые статьи и проводятся первые обсуждения методов новой дисциплины и ее статуса. Вводится ее

---

<sup>55</sup> С 1969 г. в Великобритании начинает издаваться «*Journal of Systems Engineering*».

<sup>56</sup> См.: «*Cumulative Index Books*», «*Engineering Index*», «*Applied Science and Technology Index*», а также: Горохов В.Г. Методологический анализ системотехники. М.: Радио и связь, 1982.

специальное название, идентифицирующее профессиональное сообщество. В разных странах образуются национальные профессиональные общества. Формируются системная ориентация, осознание «системного видения мира», новое направление исследования включается в системное движение. Системные представления и методы используются наряду со знаниями и методами других научных и технических дисциплин. Осуществляются первые попытки целостного описания объекта и деятельности комплексного исследования и системного проектирования.

*На втором этапе* появляются проблемные обзоры литературы и библиографические справочники, специальные разделы в традиционных библиографических изданиях. Выпускается первая монография и вводятся специальные курсы в высших учебных заведениях. Публикационный массив возрастает вдвое. Осуществляются попытки использовать общенаучные средства системного подхода для теоретического синтеза разнородных знаний и методов новой дисциплины, их конструктивная критика.

*На третьем этапе* выпускаются специальные журналы, в том числе национальные и международные. Создается профессиональное международное общество и проводятся первые международные симпозиумы и конференции. Появляются первые учебники и целый ряд монографий, а также научно-популярных изданий. Организуются кафедры и факультеты в вузах, специальные лаборатории и институты, ведется подготовка кадров высшей квалификации. Для этого этапа характерны особенно активная разработка и обсуждение конкретно-методологических проблем, формирование системных представлений и понятий, специально приспособленных для решения конкретных комплексных научно-технических задач, развитие собственных специфических методов.

*На четвертом этапе* наступает стабилизация роста публикационного массива дисциплины, которая сопровождается более детальной разработкой отдельных специфических средств и методов, а также экспансией в смежные области, т. е. происходит формирование в данной научной-технической дисциплине исследовательских направлений и областей исследования.

Таким образом, можно констатировать, что в настоящее время происходят перестройка, переворот в профессиональном сознании ученого и инженера, формирование новой профессиональной организации и исследовательски-проектной программы, и не только в сфере рассмотренных нами научно-технических дисциплин.

Например, в медицинской практике и науке, с одной стороны, активно внедряется проектная установка в связи с расширением применения медицинских приборов и все более совершенного с технической точки зрения лечебного оборудования, необходимостью планирования, управления и организации здравоохранения с помощью компьютерной техники. С другой стороны, изначальная гуманистическая ориентация медицины разрушается в процессе реализации в ней классического естественнонаучного и инженерного идеалов. Лечить необходимо конкретного человека во всем многообразии его

социальных, психологических, физиологических и других особенностей, а не орган и даже не организм — объект исследования естественной науки (и не традиционный объект проектного воздействия пусть даже самой сложной биотехнологии или генной инженерии). Вследствие этого возникают трудности и непредвиденные побочные эффекты научной фармакологии.

Можно привести пример и других научно-технических дисциплин, скажем, кибернетического цикла, которые не соответствуют классическому стандарту развития науки. Наконец, проектная установка проникает и в саму сферу управления наукой — науковедение, формулирующую свои рекомендации на основе целого комплекса научных дисциплин. Поэтому рассмотренные нами процессы отражают общую программу перестройки по новому образцу всего научного знания, в том числе и физических исследований, считающихся носителем образа науки, господствующего до сих пор в сознании многих ученых.

Квантовая физика, например, отказывается от поиска основополагающих фундаментальных законов и склоняется к своего рода комплексному исследованию, описанию физических явлений с помощью системы пересекающихся моделей, представляемых каждый раз новой комбинацией частичных теорий<sup>57</sup>. Такая перестройка уже началась и в сфере теории, и в области практики. Она связана с развитием более широкого, системного подхода к изучению и проектированию сложных систем, главным требованием которого является необходимость учета самых разнообразных факторов и последствий научного и инженерного действий.

## **2. Системно-интегративные тенденции в современной науке и технике**

Системные исследования в настоящее время получили широкое распространение в различных областях науки и техники. Они возникли в биологии (в связи с акцентом на исследовании не отдельных организмов, а всего многообразия связей в живой природе, их разнообразности и необходимости, динамического аспекта взаимодействия организма со средой); в психологических концепциях (в связи с движением против сведения психических явлений к их физиологической основе); общей теории знаковых систем — семиотике, объединившей лингвистическую, логическую, психологическую и социологическую трактовки знака; кибернетике, возникшей в процессе исследования информационных и самоорганизующихся процессов в технике, природе и обществе; современной технике и организации производства. Даже из этой краткой характеристики основных направлений становления системных исследований нетрудно убедиться, что в каждом отдельном случае задачи системного анализа сложных объектов являются весьма специфическими. Однако все они так или иначе направлены на изучение специфических характеристик *сложноорганизованных* объектов — систем.

<sup>57</sup> Capra F. Указ. соч., S. 90–91, 97–99, 100–101, 293–295.

«Если классическая наука была ориентирована на постижение все более сужающегося, изолированного фрагмента действительности, выступавшего в качестве предмета той или иной научной дисциплины, то специфика современной науки конца XX в. определяют комплексные исследовательские программы, в которых принимают участие специалисты различных областей знания. Организация таких исследований во многом зависит от определения приоритетных направлений, их финансирования, подготовки кадров и др. Реализация комплексных программ порождает особую ситуацию сращивания в единой системе деятельности теоретических и экспериментальных исследований, прикладных и фундаментальных знаний, интенсификации прямых и обратных связей между ними. В результате усиливаются процессы взаимодействия принципов и представлений картины реальности, формирующихся в различных науках. Они становятся взаимозависимыми и предстают в качестве фрагментов целостной общенаучной картины мира»<sup>58</sup>.

Если в конце XVIII — первой половине XIX в. формируется множество различных научных и технических дисциплин и соответствующих им сфер научной и инженерной практики — дисциплинарно организованная наука, в результате чего появились «узкие» специалисты, которые знают «все ни о чем» и не ведают, что происходит в смежной лаборатории, то к середине XX в. появляются уже так называемые универсалисты, напротив, знающие «ничего обо всем». И хотя статус этих универсалистов в системе дисциплинарной организации науки и в структуре специализированной инженерной деятельности до сих пор четко не определен, без них сегодня становится невозможным не только решение конкретных научных и инженерных задач, но и дальнейшее развитие науки и техники в целом. Научные и инженерные задачи становятся комплексными, и при их решении необходимо учитывать самые различные аспекты, которые раньше казались второстепенными, например экологические и социальные. Междисциплинарные, системные проблемы в науке и технике не могут быть решены в рамках какой-либо одной установившейся в этой отдельной области парадигмы. Таким образом, ставшая в XX в. традиционной дисциплинарная организация науки и техники дополняется междисциплинарными исследованиями совершенно нового уровня. «В междисциплинарных исследованиях наука, как правило, сталкивается с такими сложными системными объектами, которые в отдельных дисциплинах зачастую изучаются лишь фрагментарно, поэтому эффекты их системности могут быть вообще не обнаружены при узко дисциплинарном подходе. Объектами междисциплинарных исследований все чаще становятся уникальные системы, характеризующиеся открытостью и саморазвитием»<sup>59</sup>. Системность становится характерной чертой современного естествознания и техники.

---

<sup>58</sup> *Степин В. С.* Философская антропология и философия науки. М.: Высшая школа, 1992, с. 182–183.

<sup>59</sup> Там же, с. 183.

В самом общем виде можно выделить три основные сферы системных исследований: системный подход, общая теория систем и конкретные системные концепции. Системный подход отражает основные методологические аспекты системных исследований. Общая теория систем может быть рассмотрена как метатеория по отношению к конкретным системным концепциям.

В настоящее время разработаны различные варианты общей теории систем, ориентированные на разные проблемные и объектные области. Первой из них и наиболее известной является концепция биолога Людвиг фон Берталанфи, сформулированная им в середине 40-х гг. XX в. «Берталанфи поставил перед собой задачу построения общей теории, предметом которой являлись бы различные формы организации (биологические, социальные, кибернетические и т. д. системы). Такая теория, по его мнению, должна выработать средства решения проблем со многими переменными и по сути дела заменить механистическое понимание мира воззрением на действительность как на множество не сводимых одна к другой сфер реальности, связь между которыми проявляется в изоморфизме действующих в них законов». Однако фактически, претендуя первоначально на создание единственной общей (в смысле всеохватывающей) теории систем, его концепция явилась обобщением прежде всего биологических, зоологических и частично экосистем.

За последние десятилетия были разработаны и другие обобщенные системные концепции, например М. Месарович проанализировал различные формальные системы, предложив вариант математической общей теории систем; существуют подобные обобщения и относительно технических систем<sup>60</sup>.

Конкретные системные концепции включают в себя многообразные специальные теории систем, системные модели и разработки в рамках отдельных научных и технических дисциплин<sup>61</sup>.

Системные представления и понятия, используемые во всех этих сферах системных исследований, были выработаны на основе характеристик, общих для всех или, по крайней мере, для определенных типов сложных систем. К ним относятся представления о самоорганизации, целостности, уровнях анализа, понятия системы, структуры, подсистемы, окружающей среды, классификации основных свойств и процессов в системах, типов систем и т. д. Во всем этом многообразии необходимо выделить методы и средства системных исследований, которые относятся не к исследованию отдельных частных систем, а к любым системным исследованиям или широким их классам.

### *Системные представления*

В системных концепциях самого разного уровня, как правило, сначала дается обобщенное определение системы, которое, однако, не всегда соответствует оперативному представлению системы, реально

---

<sup>60</sup> Садовский В.Н., Уемов А.И. Системные исследования и логика. В кн.: Проблемы формального анализа систем. М.: Высшая школа, 1968, с. 6–9.

<sup>61</sup> Подробнее об этом см.: Блауберг И.В., Юдин Э.Г. Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973; Садовский В.Н. Основания общей теории систем. М.: Наука, 1974; Юдин Э.Г. Системный подход и принцип деятельности. М.: Наука, 1978.



используемому в них. Например, во многих информационных системных концепциях, несмотря на то, что система определяется традиционно как ансамбль простых частей, реально они основываются на более узком операционально введенном, но не всегда явно определяемом представлении «поточная система». При этом система понимается как «черный ящик», имеющий несколько входов и выходов, через которые в систему поступает перерабатываемая в ней информация. Тогда сложная система сводится к последовательностям простых подсистем — «поточных» элементов, имеющих лишь один вход и выход. Иногда такое представление обобщается, и на входе/выходе системы обозначаются потоки не только информации, но и материи и энергии, что, в сущности, не меняет исходного системного представления. В других случаях одно и то же понятие «система» употребляется одновременно в двух различных смыслах: 1) как упорядоченное целостное образование, состоящее из взаимодействующих элементов; 2) как совокупность элементов, необходимых для выполнения определенной операции, т. е. действия для достижения конкретной цели. Первое представление соответствует задаче построения сложных систем из относительно простых систем (или их разложения на простые системы), второе же служит иной задаче — описанию и расчленению деятельности по их созданию.

Чтобы построить синтетическое представление системы, учитывающее не только названные, но и многие другие ее представления, необходимо рассмотреть несколько различных системных представлений и установить между ними определенную взаимосвязь. Действительно, любая сложная система может быть описана, с одной стороны, динамически, как процесс, а с другой стороны, статически, с точки зрения либо внешних, либо внутренних характеристик. Кроме того, внутреннее строение системы может быть представлено в виде иерархии подсистем и далее в форме функциональных зависимостей, описывающих каждую из таких подсистем, а также в виде структуры, реализующей эти зависимости и состоящей условно из неделимых более элементов. В связи с этим можно выделить пять основных системных представлений: микроскопическое, функциональное, макроскопическое, иерархическое, процессуальное.

Процессуальное представление выражает динамику системы, остальные представления — ее статику. Макроскопическое представление описывает внешние характеристики системы, а иерархическое, функциональное и микроскопическое описывают присущие ей внутренние свойства. Иерархическое представление описывает способ разбиения системы на части. Функциональное и микроскопическое представления фиксируют соответственно функциональный и структурный аспекты системы. Эти системные представления необходимо рассматривать как идеальные типы, причем одни и те же определяющие их понятия встречаются в описании различных системных представлений, однако в разном значении<sup>62</sup>. Каждое системное представление основано на определенном инту-

---

<sup>62</sup> Для удобства введения понятий мы выбрали следующую последовательность рассмотрения системных представлений: микроскопическое, функциональное, макроскопическое, иерархическое, процессуальное. Данный порядок не соответствует реальной процедуре системного исследования, а является лишь схемой описания различных представлений системы.

итивном понимании системы, которое затем уточняется за счет введения целой совокупности системных понятий. Кроме того, каждому из системных представлений соответствуют конкретные исторические типы моделей действительности с точки зрения их различных философских описаний.

*Микроскопическое представление системы — это интуитивное понимание ее как совокупности взаимосвязанных элементов, условно далее неразложимых*

Центральным понятием здесь является понятие *элемент*, который в общем виде лишь относительно неделим, но для данной системы может рассматриваться как абсолютно неделимый. Если же элементы, в свою очередь, рассматриваются как системы, то это будут уже системы другого уровня. Система сводится в данном случае к ансамблю простых частей.

Элементы обладают связями (рис. 71), которые объединяют их в целостную систему, и могут существовать только в связанном виде. Элементы в системе могут быть статическими и динамическими, постоянными и переменными, активными и пассивными.

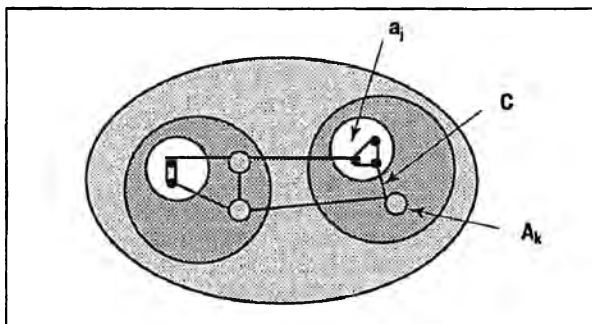


Рис. 71. Микроскопическое представление системы  
 $a_i$  — элемент,  $C$  — связь,  $A_k$  — компонент

Динамические элементы движутся в системе и производят в ней ряд действий, одновременно воздействуя на статические элементы, которые обслуживают динамические элементы и управляются ими. Соответственно различают статические (фиксирующие расположение элементов в системе) и динамические связи (описывающие движение динамических элементов по этой структуре). Постоянные элементы неизменны в течение всего периода существования системы, временные элементы могут быть за этот период созданы и разрушены. Активный элемент «работает» над пассивными, которые не выполняют никаких действий в системе. Каждый элемент независимо от его типа имеет определенный набор свойств (признаков, параметров, атрибутов), которые также могут быть постоянными или временными и отображать внутренние характеристики либо элементов (локальные атрибуты), либо системы в целом (системные атрибуты), либо отношения между элементами, т. е. характеризовать элемент с учетом его связи с другими элементами системы (ссылочные атрибуты). Элементы в системе обязательно взаимодействуют, в результате чего некоторые их свойства изменяются.

Связи и элементы дают представление о морфологии системы. Важнейшую роль в системных исследованиях играет поиск системообразующих связей, благодаря которым все элементы системы оказываются связанными воедино.

Следует различать прямые и косвенные связи. *Прямые связи* – это явное взаимодействие элементов системы. В системе могут быть элементы, не имеющие явной связи на уровне элементов, но с точки зрения системы в целом между ними существует *косвенная связь*. Для любой системы может быть сформулировано следующее общее условие: если некоторое множество элементов образует систему, то все пары элементов этого множества, которые не связаны прямой связью, соединяются посредством косвенной связи. Прямые связи могут быть непосредственными, если один элемент непосредственно связан с другим, и опосредованными – через ряд элементов-посредников.

Сеть связей элементов характеризует упорядоченность, а плотность сети связей – целостность системы. Чем больше в системе явных связей (прямых и непосредственных), тем больше она упорядочена, тем плотнее сеть ее связей и больше целостность<sup>63</sup>.

Для микроскопического представления системы важным является также понятие *структура*, которое чаще всего отождествляется с совокупностью связей. Однако структура может быть рассмотрена как совокупность элементов (с постоянными и переменными свойствами), и их связей, но только прямых. Структура фиксирует расположение элементов и связей в данной системе.

В истории философии таким образом описывал действительность, например, Демокрит, утверждавший, что существуют лишь неделимые атомы и пустота. «Атомизм ... возникает отнюдь не в результате эмпирических наблюдений (например, движения мельчайших пылинок в солнечном луче), а в результате развития определенных теоретических понятий. Именно физическое свойство атома – его твердость, плотность – не допускает разделенности его на меньшие части. учение Демокрита являет собой первую продуманную концепцию механического объяснения природы, и в этом состоит его непреходящее значение. ... Это была первая в истории мысли теоретическая программа, последовательно и продуманно выдвигавшая методологический принцип, требовавший объяснить целое как сумму отдельных составляющих его частей ... Характерной особенностью античного атомизма как метода «собираения целого из частей» является то, что при этом целое не мыслится как нечто действительно единое, имеющее свою особую специфику, не сводимую к специфике составляющих его элементов. Оно мыслится как составное, а не как целое в собственном смысле слова. ... Что же касается впечатления единства и качественности, которое мы получаем от тел чувственного мира, то оно, по Демокриту, есть лишь субъективное, лишь мнение, объективно же существуют атомы и пустота»<sup>64</sup>. Эта сформулированная Левкиппом и его учеником Демокритом исследовательская программа, многократно воспроизводилась с различными уточнениями и изменениями в течение многих веков (например, Эпикуром и Лукрецием). Эпикур так же, как Демокрит, считал основными элементами мироздания неделимые, неизменные и неуничтожимые атомы, обладающие формой, величиной и весом (это отличие

<sup>63</sup> Описание типов связей см. в кн.: Садовский В.Н. Основания общей теории систем. М.: Наука, 1974.

<sup>64</sup> Гайденко П.П. Эволюция понятия науки. М.: Наука, 1980, с. 79, 86, 88, 95–97.

от представлений Демокрита), и пустоту. По Эпикуру, атомы при движении отклоняются от прямолинейного движения самопроизвольно, а не в результате внешней механической необходимости, как считал Демокрит.

Атомистические представления сохранились и до нашего времени в виде конкретных научных теорий в микрофизике, где, впрочем, возник ряд парадоксов, противоречащих исходной атомистической программе. На пути от Демокрита к Ньютону преемственность и в то же время развитие этой программы прослеживаются довольно четко. «Например, если у Демокрита бесконечные в своем разнообразии (по величине, форме и порядку) и неделимые (абсолютно плотные и содержащие в себе пустоты) атомы носились в бесконечной пустоте и, соединяясь различными способами с помощью крючков, образовывали все многообразие объектов и явлений реального мира, то у Ньютона уточняется способ соединения уже унифицированных атомов (материальных аналогов математических бесконечно малых или дифференциалов), и на смену «наивным» крючкам античности приходит сила гравитации, которая объединяет всю Вселенную и четко отражена во Всемиром законе тяготения. Эти уточнения не затронули основы атомистической концепции. С развитием электромагнитной картины мира в физике достойное место заняла и континуалистическая концепция строения материи. Но она выступила не как отрицание атомистической концепции вообще, а как отрицание ее лишь механистической конкретной модели. ... Атомизм был возрожден на более глубоком уровне строения материи — само электричество оказалось «атомистичным», состоящим из электронов («крайне малые электрически заряженные частички»). ... В 1911 г. Э. Резерфорд показал, что положительное электричество в атомах сконцентрировано в неких частицах, а не рассредоточено по всему атому. Атом оказался не плотным бильярдным шаром, а некоей «Солнечной системой» в миниатюре. Главное в этой модели то, что масса атома сосредоточена в мельчайших частицах, которые занимают ничтожную часть объема атома. Получается, что атом в основном состоит из внутриатомной пустоты, что он пуст. На повестке дня физики начала XX века встала проблема построения специальной механики атомного мира. Если у Демокрита атомы сцеплялись крючками, у Ньютона они сцеплялись гравитационным притяжением (о природе которого сам Ньютон ничего определенного не знал), то в современной физике элементарные частицы взаимодействуют путем обмена квантами соответствующих полей. Построение квантовой механики дало возможность понять сложный мир атомов и навести там порядок. Но при этом выяснилось, что сами атомы совсем не являются некими «первокирпичиками» в структуре материи, а суть сложные динамические системы, составленные из разных элементарных частиц: электронов, нейтронов, протонов. ... Если на заре атомного века было известно слишком мало частиц, то теперь этих «первокирпичиков» оказалось слишком много, и они ... разношерстны. Попытки построить теории различных взаимодействий по единому образцу привели к построению квантовой электродинамики, в которой частицы и их взаимодействия были определены по-новому»<sup>65</sup>. Этот процесс продолжается, но все же в рамках той же самой исследовательской программы, т. е. в рамках микроскопического представления системы.

Подобное представление системы может быть проиллюстрировано и на примере простейшей механической системы, состоящей из нескольких металлических шариков, расположенных в углублениях на одной доске и последовательно соединенных между собой пружинами. Однако между расположенными друг против друга элементами-шариками существует и перекрестная косвенная связь. Они не соединены непосред-

---

<sup>65</sup> Ахундов М.Д., Баженов Л.Б. Философское понятие материи и развитие физики элементарных частиц. В кн.: Философия физики элементарных частиц (тридцать лет спустя). М.: ИФРАН, 1995, с. 29–33.

венно пружинами, но при попытке изъять один из шариков он потянет за собой и все остальные, поскольку они связаны посредством системы в целом, представляющей собой совокупность пружинных связей.

В современной технике микроскопическое представление используется и для описания сложных технических систем. Например, в радиоэлектронике электрические схемы описывают определенную структуру, где сначала радиолампа, затем транзистор или другой электронный прибор, источник напряжения, сопротивление нагрузки, источник смещения и др. использовались в качестве элементов, а соединяющие их проводники представляли собой реальные электрические связи. В течение последних лет в радиоэлектронике эта элементная база значительно изменилась: стали использоваться многослойные интегральные схемы, в которых физические элементы и связи не являются так же легко визуально идентифицируемыми, как раньше. Но от этого изменился лишь способ представления системы в виде элементов и связей в рамках микроскопического представления. Причем если электрическая цепь обесточена, то в ней нет и реальных электрических связей, а следовательно, нет и элементов. Когда же цепь подключена к источнику электрической энергии, в ней образуются реальные электрические связи и можно говорить о существовании элементов, которые они связывают.

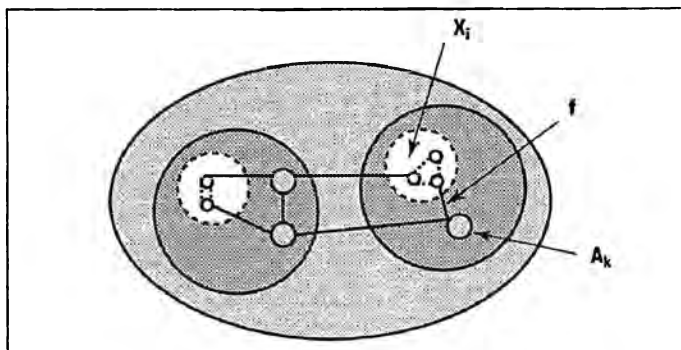
**Функциональное представление системы — это понимание системы как совокупности действий (функций) для достижения определенной цели**

Каждый элемент в системе выполняет определенную функцию. При этом функциональные свойства элементов являются свойствами первого порядка, поскольку позволяют включаться в систему для выполнения общей цели, стоящей перед ней и всеми ее элементами. Свойства же второго порядка — это те нежелательные свойства, которые привносит с собой элемент в систему.

Наиболее показательный пример — любой орган живого организма, который должен благодаря своей определенной функции поддерживать жизнеспособность всего организма. Большой орган несет на себе свойства второго порядка, которые крайне нежелательны для нормального функционирования организма и могут привести к его заболеванию и даже летальному исходу. Точно так же и в технике, например, для усилителя таким нежелательным свойством оказывается нелинейное искажение усиливаемого сигнала, для электронных ламп — излишний вес и чувствительность к перегрузкам, если они устанавливаются в навигационных электронных приборах летательных аппаратов.

Совокупность свойств первого порядка, рассмотренных обособленно от свойств второго порядка, называется *функциональным местом* элемента. Между функциональными местами в системе существуют функциональные связи, или *отношения*, которые фиксируют только факт принадлежности элемента к системе с точки зрения выполнения определенной функции. Синонимом понятия «структура» для функционального представления является понятие *функциональная структура*, или *организация*. Понятие «наполнение» позволяет установить определенное соотношение между структурой и организацией, которое называется отношением реализации. Существует общее

мнение, что организация может быть реализована различными структурами. При этом функциональная сущность системы остается неизменной, меняется только способ реализации. Другими словами, функциональные места могут быть погружены в определенный материал (по-разному наполнены), в результате чего отношения между ними заменяются реальными связями, а сами они превращаются в элементы (рис. 72).



**Рис. 72. Функциональное представление системы**  
 $X_i$  – функциональное место элемента,  $f$  – отношение,  $A_k$  – компонент

Можно выделить несколько типов наполнений элементов.

Первый тип характеризуется возможностью существования вне системы, т. е. в несвязанном виде. Наполнения этого вида сохраняются вне системы в том же виде, что и внутри нее, т. е. всегда выполняют одну и ту же функцию, которая за ними закреплена.

К такого рода наполнениям элементов относятся стандартные блоки технических систем, например стандартный блок, состоящий из нескольких каскадов усилителей, за которым жестко закреплена одна и та же функция – усиление сигнала, независимо от того, где он применяется – в приемнике, передатчике, радиолокационной или телефонной системе.

Наполнения второго типа также могут существовать в несвязанном виде, однако в различных системах они выполняют разные функции, т. е. многофункциональны.

Например ферритовый сердечник может выполнять функцию усилительного (ключаемого) элемента в усилителе, элементарной запоминающей ячейки в запоминающем устройстве компьютера, магнитного элемента и др.

Наполнения третьего типа не могут существовать вне какой-либо системы, т. е. в несвязанном виде.

Например, органическая ткань не может существовать вне биологического организма или искусственно созданной биологической среды, т. е. органы дельфина или летучей мыши нельзя изъять и использовать в радиолокационной системе.

С точки зрения функционального представления безразлично, каким образом материализованы (или из какого материала изготовлены) элементы. Однако функции обязательно должны быть отнесены к материальным элементам, что в известном смысле детерминирует способ расчленения сложной системы.

В истории философии это представление наиболее полно было разработано в аристотелевской теории материи (бесструктурной, бесформенной субстанции) и формы, оформляющей материю в конкретную вещь, предмет. Аристотель в «Метафизике» на поставленный им самим же вопрос, что значит делать вещь из имеющегося в качестве материала субстрата, отвечает: «реализовывать эту форму в другом (т. е. в субстрате)». Например, делать медь круглой — значит реализовывать эту форму в субстрате, материале: «человек делает медный шар так, что из этого вот (материала), именно — из меди, он делает вот это — именно шар ... он вносит форму в этот материал» и в результате получается медный шар, т. е. фигура, всюду одинаково отстоящая от центра (1033a12–1034b12). Человек «создает и производит из этой вот основы вещь с таким-то качеством», а «целое, это уже — такая-то форма в этих вот костях и мясе (1033b13–1034a10)», т. е. материале<sup>66</sup>. Однако, по Аристотелю, форма, как, впрочем, и материя, заданы раньше всякой вещи. В «Физике» он продолжает эту тему: «как относится медь к статуе, дерево к ложу или материя и неоформленное вещество до принятия формы, так и лежащая в основе природа относится к сущности, определенному и существующему предмету» (191a). Человек производит «переоформление», и именно так статуя (отдельная вещь) возникает из меди (материала).

Далее Аристотель подробно обсуждает понятие «место»: «физику необходимо знать и относительно места, существует оно или нет и как существует, и что оно такое» (186a). Эта проблема возникает у Аристотеля в связи с формулированием главной проблемы в его физике — определения причины движения, понимаемого как механическое перемещение (изменение места). «Что место есть нечто, это ясно из взаимной перестановки вещей: где сейчас находится вода, там после ее выхода, как из сосуда, снова находится воздух, а иногда то же самое место занимает другое тело ... ясно, что было место как нечто (пространство), отличное от них обоих, в которов и из которого они переходили» (208b). Таким образом, место, по Аристотелю, представляет собой нечто наряду с телами, и всякое чувственно воспринимаемое тело находится в месте. Место — это граница в ограничиваемом теле, это граница каждого. Оно не является ни формой, ни материей, «так как последние неотделимы от предмета, а для места это возможно (209b)». «По-видимому, место есть нечто вроде сосуда, так как сосуд есть переносимое место, сам же он не имеет ничего общего с содержащимся в нем предметом (209b)». Далее он обсуждает вопрос о том, что означает выражение «одно содержится в другом»: во-первых, как палец на руке и вообще часть в целом, во-вторых, как целое в своих частях (не существует целого помимо частей), в-третьих, как вид в роде, в-четвертых,

<sup>66</sup> Аристотель. Метафизика. М.-Л.: Гос. Социально-экономическое изд-во, 1934. «Первоначально для Аристотеля материя и форма, таким образом, — это «просто материал и оформление: бронзовая сфера — стандартный пример для Аристотеля — составлена из определенного материала, а именно бронзы и определенного оформления, а именно сферичности. (Конечно, бронза и сферичность не являются в буквальном смысле частями бронзовой сферы и единство бронзовой сферы не подобно единству, так сказать, стола, который составлен из крышки и четырех ножек)». Позже, однако, отношение материи и формы имеет у него зачастую мало общего с соотношением материала и его оформления (Barnes J. *Metaphysics*. In: *The Cambridge Comparison to Aristotle*. Cambridge University Press, 1995, p. 97).

как форма в материи, и т. д., а в своем собственном значении — как в сосуде и вообще в каком-либо месте (210а)<sup>67</sup>.

Эта проблема заново формулируется в Новое время как проблема различия первичных и вторичных качеств вещи. Она восходит к демокритовскому различению знания «по истине» (постигаемой разумом атомарной структуры) и знания «по мнению» (того, что дано в форме ощущений).

По Демокриту, атомы различаются формой, порядком и положением, а их первичными качествами (истинными, т. е. познаваемыми разумом, но не чувствами) являются, например, плотность, величина, неделимость, форма, движение.

По Галилею, к первичным относятся чувственные качества вещей, имеющие корни в объективных свойствах материи, которые сводятся к количественным механическим элементам: величина, форма, количество материальных тел (протяжение) и их движение по законам механики. Знание о них дает математика. Вторичными же являются вкус, запах, цвет и т. д., обусловленные только нашими чувствами. Эти качества присущи не объекту, а субъекту, и с устранением живых существ также были бы устранены.

Для Гоббса к первичным качествам относятся величина (способность занимать пространство, т. е. протяжение), движение и покой. Они сводятся к бесконечным элементам — линии, фигуры, величины и плоскости, постигаемые рационально с помощью геометрии. Вторичным является знание, даваемое чувствами, о целостных вещах, т. е. о форме, в которой тело нам представляется.

Гассенди считал, что первичными качествами являются масса, фигура, величина, тяжесть (вес), движение, а Декарт — протяжение в длину, ширину и глубину. Определенные фигуры и движения вызывают ощущения, называемые нами светом, теплотой и т. п., и являющиеся чувственными качествами, которые имеют лишь иллюзорное бытие (подобно щекотке).

У Локка первичные качества неотделимы от тела, т. е. это объем, форма, движение, сцепление. Эти качества порождают в нас простые идеи — плотности, протяженности, формы, движения или покоя и числа — и находятся в телах независимо от того, воспринимаем мы их или нет. Это свойства материальных тел, в принципе не отличающиеся от ощущений этих свойств. Вторичным же качествам, к которым относятся цвет, звук, вкус и т. д., ничего не соответствует в самих вещах, которые вызывают у нас эти различные ощущения своими первичными качествами.

Беркли же признает все без исключения качества вещей вторичными. Он отверг наличие объективной основы у идеи первичных качеств, для него геометрические и механические характеристики тел также вторичны, полностью и целиком плод субъективной деятельности человека и возникают только благодаря контрастности в структуре цветов, звуков и ощущений осязания. Таким образом, излишняя онтологизация качеств предметов привела к абсурдному заключению о их полной субъективности. В теории систем этот парадокс снимается, поскольку первичные (функциональные, первого порядка) и вторичные (второго порядка) свойства элементов различаются лишь функциональной ролью в исследуемой системе.

***Макроскопическое представление — это понимание системы как нерасчлененного целого***

Здесь важным является понятие *системное окружение* (окружающая среда системы), происхождение которого обусловлено биологическими и экологическими представлениями «организм — окружающая среда».

<sup>67</sup> Аристотель. Физика. М.-Л.: Гос. Социально-экономическое изд-во, 1937.



В более общем виде под окружающей средой системы понимается совокупность всех объектов, изменение свойств которых влияет на систему и на которые влияет изменение свойств системы. Ни одна система объектов не может быть рассмотрена вне системного окружения.

В частности, ни одна физическая система (например, механизм) не может быть понята вне физической реальности, в которой действуют законы классической механики. В современной физике пространственно-временные представления в мегамире, описываемые общей теорией относительности, и поведение систем в нем отличаются от пространственно-временных отношений в макромире, описываемых специальной теорией относительности, и микропространства-времени, являющихся по сути дела различными системными окружениями мега-, макро- и микросистем<sup>68</sup>.

Дихотомия «система – системное окружение» имеет также существенное значение для понимания технических систем. Любая техническая система в процессе создания должна быть рассмотрена и как часть более крупной системы (например, радиолокационная станция – как часть системы противовоздушной обороны), и с точки зрения отношения к другим, окружающим ее и влияющим на нее системам. Сложная техническая система уже на этапе проектирования не должна рассматриваться в отрыве от окружающей среды, поскольку система не просто создается, а затем вводится в окружение, – она и определяется этим окружением.

Соответствие между системой и ее окружением можно установить на основе дихотомии «естественного – искусственного». В принципе любая система может рассматриваться и как естественная, и как искусственная. Система является естественной, поскольку рассматривается как самодвижущийся организм, т. е. объектом, развивающимся по своим внутренним законам, не зависящим от человеческой деятельности. В этом случае основным является отношение естественного взаимодействия – воздействия среды на систему и системы на среду. Система является искусственной, поскольку рассматривается как конструируемый извне механизм. С этой точки зрения она может быть заранее создана на основе проекта и лишь потом включена в определенную естественную среду, где будет функционировать. Главным отношением в этом случае будет отношение реализации. Между системой и системным окружением существует определенное отношение: либо естественная система (Е) объемлет искусственную (И), либо искусственная – естественную (рис. 73).

Дихотомическое деление на систему и системное окружение позволяет охарактеризовать систему как множеством внешних связей (или внешней структурой), так и функционально: – совокупностью внешних отношений.

Такого рода макроскопическое представление восходит еще к представлениям элейтов. Парменид развил учение о едином, вечном, неподвижном и неизменном бытии, постигаемом умом вопреки свидетельству чувств, как о самодостаточном, ни в чем не

---

<sup>68</sup> Бранский В. П. Квантово-полевой и хроногеометрический подходы в теории элементарных частиц. В кн.: Философия физики элементарных частиц (тридцать лет спустя). М.: ИФРАН, 1995, с. 51–52.

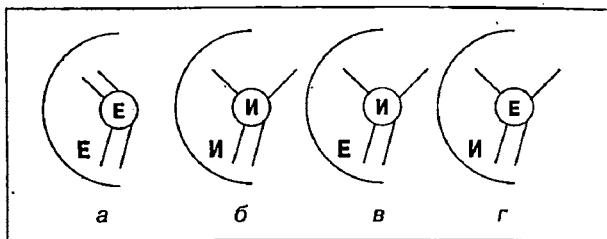


Рис. 73

(а) Сложная система рассматривается как естественная и включенная в естественную среду, что позволяет фиксировать их естественное взаимодействие. В процессуальном плане это означает прогнозирование естественного развития, самодвижения системы в окружающей среде. Такой взгляд характерен для «чистого» естественнонаучного исследования. Примером естественного взаимодействия может быть отношение «организм – среда» в биологии. Биологический организм, развивающийся по внутренним естественным законам, включен в среду, также подчиняющуюся естественным законам.

(б) Искусственный объект включен в искусственную среду. Это отношение характерно для «чистой» технической позиции. С искусственной точки зрения не существует естественных ограничений — «все можно изготовить». Реально инженер, конечно, ориентируется на систему естественных ограничений: использует готовые блоки, естественные объекты, естественное сырье, естественнонаучные знания и т.д. Это обуславливает смешанную «естественно-искусственную» позицию инженера. Однако чисто «естественная» и «искусственная» точки зрения также имеют важное значение: в процессе создания новой технической системы необходимо первоначально отвлечься от возможностей изготовления и рассмотреть объект без каких бы то ни было ограничений.

(в) Сложная система рассматривается как целиком искусственная, но включенная в естественную среду. При этом возникает проблема совместимости. Включение искусственно спроектированной сложной системы в реально существующую социальную и природную среду требует значительной модификации проекта с точки зрения естественных требований. Это возможно при описании среды с точки зрения соответствующих социальных и естественнонаучных дисциплин.

(г) Естественный объект включен в искусственную среду. Это отношение фиксирует искусственные воздействия на объект, развивающийся по внутренним естественным законам. Данная точка зрения предполагает модификацию среды с учетом системы. Сложная система уже построена и необходимо обеспечить ее функционирование, перестроив окружающую среду. В данном случае речь фактически идет о проектировании или перестройке системного окружения.

нуждающемся, никуда не стремящемся и нерасчлененном целом. Макроскопическое представление и рассматривает систему как нерасчлененное, не состоящее из частей целое. Лейбниц в «Монадологии» также развивает учение о единичном и едином — монаде, простой, неделимой, не имеющей частей субстанции, входящей в состав сложных. С одной стороны, Лейбниц рассматривает монады как истинные атомы природы, элементы вещей, с другой стороны, существуют качественное многообразие монад, видовая определенность и разнообразие этих простых субстанций. Для них характерна также множественность состояний и отношений, хотя они и не имеют частей. В них происходят

постоянные естественные изменения, исходя из внутреннего принципа, так как внешняя причина не может оказывать влияния внутри монады (монады не имеют окон, через которые что-либо могло бы войти или выйти). В то же время монады обладают способностью восприятия и стремления, кроме того, им приписываются действие и страдание. Лейбниц говорит и о влиянии одной монады на другую, хотя и идеально, происходящем через посредство Бога, который представляет собой первичное единство, изначальную простую субстанцию, т. е. также монаду. Все остальные сотворенные и производные монады являются созданиями Бога и рождаются из его непрерывных излучений. Именно поэтому одна монада находится в зависимости от другой и их действия и страдания взаимны, поскольку они не могут физически влиять на внутреннее бытие других монад. Существует бесконечное множество монад, каждая из которых является постоянным живым зеркалом универсума, а значит, и бесконечное множество универсумов, которые, однако, лишь перспективы одного и того же. Таким образом, в мире существует всеобщая предустановленная гармония, в силу которой всякая субстанция точно выражает все другие субстанции путем отношений, какие она имеет к ним<sup>69</sup>. Нас, однако, в данном случае не интересует онтологический статус монад и соответствие реальности нарисованной Лейбницем картины. В последнее время в микрофизике модели поведения частиц рассматриваются аналогично монадам Лейбница как обладающие известной самостоятельностью в выборе линии их действия. С точки зрения системных представлений нас интересует лишь методологический аспект монадологии Лейбница, т. е. развитые им средства представления целостности.

В противоречивом изложении о том, что представляет собой монада (с одной стороны, каждая из них неразложима на части – все вещи состоят из монад, не имеющих связей с другими монадами и являющихся поэтому самоопределяемыми и самоценными единицами божественного универсума, с другой стороны, они имеют какие-то отношения между собой в предустановленной мировой гармонии и изменяющиеся внутренние состояния, являются зеркалом универсума, производны от одной изначальной монады – Бога, что предполагает их рассмотрение как систем с внешними отношениями в системном окружении – универсуме), основное внимание в системном исследовании уделяется внешней характеристике монады – системы, рассмотренной как единое целое и в то же время как единица анализа. Что значит «не иметь частей» и «существовать в чем-то»? Простое существует в составном, а многообразное – в едином. Деление на части, по Лейбницу, имеет двойкий смысл: разложимость в смысле ликвидации (целого) и делимость как развертывание. В процедурах анализа-синтеза простое и составное выступают как различные уровни познания целого. «Целью любого движения мысли всегда является единство. Аналитическое движение в своем возвращении к исходным единицам фиксирует понятие в качестве составного единства. Или же мысль в своем синтетически-комбинаторном движении достигает составного из исходных единиц единства». Таким образом, синтез и анализ как единое и многое или единство и многообразие должны мыслиться совместно. Поэтому вместе с простым, далее не сводимым, т. е. с монадой, одновременно задается и все существующее. Эта заданность у Лейбница особенно явно выявляется в виде конвертируемости понятия монады и понятия мирового целого. Даже в самом своем начале мышление несет в себе целокупность. Само мышление является в определенном смысле монадным единством, в котором в то же время заключено все многообразие мыслимого. Однако как единство мыслимое выражается в аналитическом обосновании и синтетическом изобретении. «Простое – это монада, составное – многообразие монад или агрегат монад. Составное является одновременно и целым, и частью, т. е. тем, что находится в составе

<sup>69</sup> См.: Лейбниц. Монадология. В кн.: Лейбниц Готфрид Вильгельм. Соч. В 4 т. Т. 1. М.: Мысль, 1982.

с другими». Таким образом, составное является, с одной стороны, единством, а с другой стороны — многообразием. Поэтому простое и составное могут быть названы частью и целым<sup>70</sup>. Здесь уже намечается переход к иерархическому представлению системы.

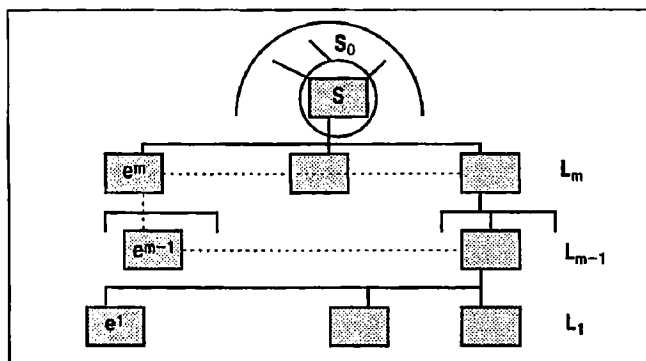
**Иерархическое представление системы  
как иерархической упорядоченности — это понятие подсистемы,  
или единицы, которую следует отличать от элемента**

Единица обладает функциональной спецификой целого, т. е. системы. Система же может быть представлена в виде совокупности единиц, составляющих системную иерархию.

Низший уровень системной иерархии — *предельная единица*, которая еще сохраняет основные черты данной системы, но может быть разложена уже не на единицы, а только на элементы.

Например, молекула аммиака может быть разложена уже не на молекулы, а только на атомы, т. е. элементы. Так же и в радиотехнике любое устройство может быть представлено в виде иерархии четырехполюсников, каждый из которых может быть разложен на более простые четырехполюсники. Если же простой четырехполюсник не может быть разложен на четырехполюсники-единицы, то он представляет собой предельную единицу, которая разлагается только на двухполюсники, представляющие собой в данном случае элементы радиотехнической системы.

Совокупность единиц, составляющих один горизонтальный ряд иерархии, называется *уровнем иерархии*. Глубину же системной иерархии — от системы как целого до элементов — характеризует *уровень анализа*, который выражает предел делимости данной системы на подсистемы (рис. 74).



**Рис. 74. Иерархическое представление системы**

$S_0$  — системное окружение;  $S$  — система;

$L$  — уровень иерархии;  $e$  — единица иерархии

<sup>70</sup>Ruf O. Die Eins und die Einheit bei Leibniz. Die Untersuchung zur Monadenlehre. Meisemheim am Glan: Verlag Anton Glan, 1973, S. 13–21.

Существуют горизонтальные и вертикальные функциональные связи между единицами системной иерархии: горизонтальные связи (связи координации) устанавливаются между единицами какого-либо одного уровня иерархии, а вертикальные (связи субординации) — между единицами различных уровней иерархии, пронизывают один или несколько этих уровней, являясь внешними по отношению к единицам более низкого уровня иерархии и внутренними по отношению к более высокому уровню. Последовательность уровней иерархии системы не может быть жестко задана, поскольку зависит от решаемой задачи.

Единицы каждого уровня описываются с помощью набора вертикальных и горизонтальных связей. Одной или нескольким из этих связей соответствует единица более низкого уровня иерархии. Предельная единица уже не разлагается на единицы. Описываемому ее внешнему набору вертикальных и горизонтальных связей соответствует фиксированный набор функциональных мест, образующих вместе с отношениями между ними внутреннюю организацию предельной единицы, которая может быть так или иначе реализована в виде определенной структуры. Реализованная единица представляет собой компонент системы, который, так же, как и элемент, характеризуется свойствами первого и второго порядка.

Переход от единицы к ее элементам обычно сопровождается сменой теоретического описания системы. В естествознании это выражается сменой типа физической реальности при описании явлений в мега-, макро- или микромире. В технике, например, при рассмотрении информационной системы как четырехполюсника мы имеем системное окружение, описываемое в основном теорией информации. Преобразуя же эту систему (скажем, генератор синусоидальных колебаний) в иерархию четырехполюсников, мы получаем в итоге структуру, состоящую из двухполюсников. Теперь, если рассматривать какой-либо конкретный двухполюсник, например резистор, как систему, мы перейдем на другой уровень анализа, при котором системное окружение описывается теорией электричества. Аналогично и в современной биологии речь идет не о поисках единственного онтологического основания биологических явлений, с точки зрения которого все может быть окончательно объяснено, а о том, что любому уровню явлений соответствует более низкий уровень, с точки зрения которого может быть объяснено анализируемое целое. Например, эволюция популяций и видов организмов может быть объяснена с точки зрения сил, действующих на генетическом уровне. Переходя на следующий уровень анализа, т. е. репликации и действия генов, обращаются к атомистической химической теории, но это не значит, что сами механизмы эволюции обязательно должны быть объяснены с точки зрения атомистической химии<sup>71</sup>.

Иерархическое представление различных систем встречается во многих философских системах прошлого, начиная с представления Анаксимандра о бесконечно делимом — апейрон (беспредельном, неопределенном, непреходящем), лежащем в основе всего сущего, и Анаксагора, считающего основой всего существующего материальные частицы, сочетания которых образуют качественно подобные им тела — «гомеомерии» (подобочастные), «семена» всех вещей. Гомеомерии движутся и упорядочиваются неким космическим умом (нус), существующим независимо от них. Провозглашенный им тезис

<sup>71</sup> См.: *Brandon R. Concepts and Methods in Evolutionary Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996, p. 181–182.

«все во всем» фактически означал, что в сколь угодно малой частице любого вещества (в том числе в любом семени) содержатся все существующие в природе вещества и качества. (Именно этот принцип реализуется в голографии, где, используя любую часть голографического изображения, можно воспроизвести голограмму в целом.) Каждая частица (или семя) кажется однородной в силу того, что в ней преобладает какое-то одно из качеств и веществ. Своеобразная иерархическая система мира строится в теориях эманации божества, начиная с Плотина.

Интересным примером такого представления является интерпретация учения Лейбница о монадах французским философом XVIII в. Кондильяком в «Трактате о системах», в котором он, по его собственному утверждению, предваряя критику, реконструировал это учение, выявляя скрытые послышки, систематизируя и дополняя его, как это сделал бы сам Лейбниц, а фактически же сформулировал собственную интерпретацию монадологии.

«Кондильяк начинает свою монадологию с уточнения терминов «субстанция» и «сущность», выявляя ... их генезис с тем, чтобы показать их происхождение в ощущениях и проследить возможно более последовательно их развитие и модификацию. В качестве лежащего в основе этих понятий опыта Кондильяк выводит ощущение тяжести собственного тела. Тем самым доказывается происхождение несущих понятий «субстанция» и «сущность» в чувственном опыте и делается первый шаг в учреждении сенсуалистской монадологии ... На основе самонаблюдения мы знаем, что принцип изменения нашей души заключен внутри нее самой. Это, по мнению Кондильяка, дает нам право считать, что и у остальных монад происходит то же самое»<sup>72</sup>.

Кондильяк утверждает, что «организованное тело есть такое тело, части которого находятся во взаимной гармонии, заставляющей их стремиться к одной и той же цели в таком порядке, при котором они кажутся действующими лишь в зависимости друг от друга. Так, например, человеческое тело организовано, ибо все в нем устроено в таком соответствии, чтобы сообщать по видимости душе перцепции, иногда смутные и спутанные, иногда же до известной степени ясные и отчетливые. Но каждая монада соединена с некоторым телом, благодаря которому она представляет себе Вселенную; значит, каждая монада обладает организованным телом, она обладает совокупностью простых существ, которые все подчинены ей. в природе нет ничего мертвого: все в ней обладает чувствами, все одушевлено, и каждая доза материи есть мир сотворенных существ ... бесконечного множества видов. каждая монада была соединена с некоторым телом, чтобы никогда от него не отделяться. ... каждое организованное тело должно состоять из организованных тел, малейшие части материи вплоть до бесконечности должны быть настоящими организмами ...».

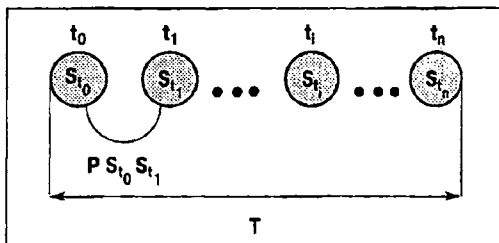
Кондильяк исходит из того, что, поскольку существуют сложные вещи, должны существовать и простые. Поэтому все существующее (Вселенная) представляет собой совокупность единиц-монад, которые просты и едины. «Явления представляют нам сложные вещи или некоторые целые, части которых находятся между собою в отношениях более непосредственных, чем их отношения ко всякой другой вещи. Значит, простые существа комбинируются между собой так, что некоторые из них, имеющие между собою непосредственное отношение, образуют нечто аналогичное сложным вещам. Это я называю совокупностями или агрегатами монад. Поэтому между агрегатами должны существовать отношения ...» Между монадами также существуют отношения, которые изменяются, причем непрерывно меняется и состояние монад. Интерпретируя утверждение Лейбница о том, что каждая монада представляет собой Вселенную, Кондильяк выстраивает системную иерархию: «какое-нибудь очень сложное тело не представляется непосредственно в простом существе, но оно представляется так в теле,

<sup>72</sup> *Kreimendahl L.* Condilliac und die Monaden. Zu einem neu aufgefundenen Text des Abbes. In: *Archiv für Geschichte der Philosophie.* 1982, Bd. 64, S. 282, 283.

менее сложном, чем оно само; это последнее представляется в другом теле, еще менее сложном, и т. д. Такое представление друг друга путем мельчайших переходов доходит мало-помалу до наименьших тел и заканчивается каким-нибудь простым существом. ... в каждой части материи имеется бесконечное множество тел, друг друга меньше, тел, которые убывают путем бесконечно малых различий вплоть до того тела, которое непосредственным образом связано с простым существом»<sup>73</sup>. Из двух альтернатив — либо тело бесконечно делимо, либо имеются простые сущности, которые его составляют, — Кондильяк считает истинной вторую. Монада, таким образом, представляет собой предельную единицу анализа системы монад.

*Процессуальное представление системы — это понимание системного объекта как совокупности процессов, характеризующихся последовательностью состояний во времени*

Основным понятием здесь является понятие *период жизни* — временной интервал, в течение которого функционирует данный процесс. Период жизни  $T$  разбивается на ряд состояний  $S_{t_0}, S_{t_1}, S_{t_n}$ . Анализируя состояния процессов, протекающих в системе в данный момент, а также прошлые состояния, можно выявить инварианты этих процессов, которые позволяют перейти к функциональному описанию системы. Связи  $P S_{t_0} S_{t_1}$ , соединяющие отдельные состояния в единый процесс внутри периода его жизни, называются *связями перехода*. Совокупность двух состояний или более, соединенных связями перехода, образует *единицу перехода* (или единицу процесса). Иерархическая упорядоченность таких единиц (от предельных состояний до системы в целом) образует своего рода процессуальную иерархию (рис. 75).



**Рис. 75. Процессуальная иерархия**

$t$  — момент времени,  $S_t$  — состояние системы в определенный момент времени,  $P S_{t_0} S_{t_1}$  — связь перехода,  $T$  — период жизни системы

Исторически первое в истории философии процессуальное представление было развито Гераклитом, который подчеркивал в своем учении всеобщую текучесть вещей, вечность и непрерывность изменений: на входящего в одну и ту же реку текут все новые и новые воды; солнце не только новое каждый день, но и вечно и непрерывно новое.

<sup>73</sup> Де Кондильяк Э.Б. Трактат о системах, в которых вскрываются их недостатки и достоинства. М.: Гос. Социально-экономическое издательство, 1938, с. 73, 74, 85, 58–75 (63, 70).

«Поток, находящийся в постоянном изменении, является Гераклиту в виде метафоры мира. Но не только мир вокруг тебя — и это также хотел бы выразить Гераклит — и ты сам тоже не являешься одним и тем же от одного момента к другому. На этих гераклитовских мыслях основываем мы глубинный характер жизни». Именно так Людвиг фон Берталанфи впервые обсуждает основания выдвинутой им в середине XX в. идеи общей теории систем. Формы живого лишь внешне постоянны и неизменны, в действительности же они находятся в постоянном потоке явлений, «они являются выражением постоянного течения материи и энергии». Такое постоянное изменение можно обнаружить на всех ступенях биологической организации: возникновение, рост, старение, смерть соподчиненных систем от химических компонентов в клетках, клеток в многоклеточном организме, индивидумов в биоценозе. «Это динамическое представление организма можно причислить к одному из важнейших принципов современной биологии». В этом и заключается суть представления об «открытой системе», введенное Берталанфи, находящейся в процессе постоянного обмена с окружающей средой материей и энергией и в то же время в стационарном состоянии «динамического равновесия»<sup>74</sup>.

Процессы, протекающие в системе, могут быть разделены на основные и вспомогательные. К основным процессам относятся развитие и функционирование системы, к вспомогательным — процессы, обеспечивающие функционирование системы.

Фактически это различие было заимствовано и обобщено Л. фон Берталанфи при построении теории организма как открытой системы из физиологии. «Общая физиология упорядочивает жизненные функции по трем главным направлениям. Первое из них представляет собой обмен материей и энергией, т. е. в организме постоянно протекают процессы усвоения и построения. Суть этого явления — в сохранении состояния динамического равновесия. Вторую область составляют явления раздражимости, т. е. реакции на внешние влияния, а также автономная деятельность, которая, как, например, биение сердца или дыхание, протекает без внешнего возбуждения. Третье направление физиологии, наконец, объединяет явления так называемого изменения форм, т. е. относительно медленного преобразования в ходе роста, развития, старения, смерти». Таким образом, первое направление описывает обмен веществ в организме-системе, т. е. обеспечение функционирования системы, которое представляется во втором направлении как внешнее и внутреннее функционирование системы без акцентирования внимания на изменении ее структуры. Наконец, третье направление связано с рассмотрением аспекта развития системы<sup>75</sup>.

Процессы *развития* в отличие от функционирования можно выделить только при сопоставлении системы с аналогичными системами, существующими и существовавшими. Они относятся к внешним процессам системы в целом. Можно говорить о возможных путях развития системы и о факторах, влияющих на реализацию того или иного пути через ряд состояний. Для прогнозирования развития системы недостаточно знать нынешнее состояние системы, требуется изучить прошлые ее состояния, установить связи перехода между ними, чтобы можно было прогнозировать ее изменения.

---

<sup>74</sup> Von Bertalanffy L. Das biologische Weltbild. Bd. 1. Die Stellung des Leben in Natur und Wissenschaft. Bern: A. Francke AG. Verlag, 1949, S. 119–120).

<sup>75</sup> Von Bertalanffy L. Указ. соч., S. 126.



За период жизни системы в ней могут происходить различные процессы развития: централизация и децентрализация, интеграция и дезинтеграция, организация и дезорганизация. Интеграция — это все более тесное связывание элементов системы, повышение ее целостности. Противоположный ему процесс — дезинтеграция — это рассогласование отдельных частей системы, что может привести к выходу ее из строя. Интеграция и дезинтеграция могут последовательно существовать в одной и той же системе. Централизация предполагает постепенное выделение одной ведущей части системы, которая начинает играть доминирующую роль. Небольшие изменения в ней вызывают серьезные изменения в системе. Противоположный процесс — дезинтеграция системы — приводит к увеличению равноценности всех частей. Перечисленные процессы тесно взаимосвязаны: одновременно могут происходить дезинтеграция и децентрализация, интеграция и централизация и т. д.<sup>76</sup> Иерархическая организация системы — это все большее упорядочение отдельных подсистем по уровням иерархии с увеличением числа этих уровней и соподчинения их друг другу. Нарушение упорядоченности единиц системы по уровням иерархии называется ее дезорганизацией. Организация (или дезорганизация) может сочетаться попеременно с интеграцией (дезинтеграцией) и централизацией (децентрализацией).

*Функционирование* системы — это внутренний процесс ее нынешнего состояния. Процессы функционирования выделяются с точки зрения выполнения задач, ради которых создана, создается или действует система. Функционирование рассматривается как движение по фиксированной структуре системы, т. е. совокупности статических элементов и статических связей между ними. Данное движение описывает динамические связи (связи перехода), при этом изменяется состояние элементов системы. В данном случае важным является понятие *процесс*, т. е. последовательность событий, описывающих поведение системы.

Процесс функционирования характеризуется структурой и правилом действий (схемой поведения). Событием называется активная фаза процесса, а пассивная представляет собой период неактивности, во время которого активными будут другие процессы. По мере того как в различные моменты времени наступают разные события, меняется статус системы, который описывает состояние системы в определенный момент ее функционирования. Понятие *статус* может быть употреблено и по отношению к отдельному элементу: изменение его статуса заключается, например, в изменении его свойства или принадлежности к подсистеме.

События могут быть внесистемными и внутрисистемными. Первые определяются внешними причинами, которые происходят за пределами системы, вторые — предшествующими событиями и образуются внутри системы. Последовательность операций, определяющих динамику поведения системы или ее элемента, и составляет операционный алгоритм (правило действий) процесса. Функционирование системы, таким образом, представляет собой наложение динамики событий (операционного алгоритма) на статическую структуру каждого ее состояния.

Кроме того, следует различать несколько понятий времени, связанных с функционированием системы. Под реальным временем, внешним по отношению к системе, понимается решение задач в темпе, соответствующем реальному функционированию системы. Системное время — это представление реального времени в модели — величина, которая может принимать значения, называемые критическим временем, характе-

---

<sup>76</sup> Холл А. Д. Опыт методологии для системотехники. М.: Сов. Радио, 1975.

ризирующем моменты, в которые изменяются или могут изменяться состояния системы. Протекание процесса при моделировании функционирования системы определяется последовательностью операций и критическим временем. Локальное время — это время, с которым соотносятся изменения, происходящие в процессе функционирования системы. Весь период функционирования системы  $T$  происходит в системном времени, а ее развитие — в реальном времени. Этот период  $T$  представляет собой последовательность критических времен  $t_0, t_1 \dots t_{n-1}, t_n$ , характеризующих моменты, в которые изменяется статус системы. Каждому такому моменту соответствует определенное состояние процесса. Время, за которое происходит изменение состояния элементов системы, т. е. время активной фазы процессов ее функционирования, и называется локальным ( $\tau_{\text{л}}$ ). Между состояниями никаких событий, изменений не происходит (пассивная фаза процесса), однако время, за которое осуществляется связь перехода между этими состояниями, необязательно равно нулю, а может быть выражено некоторой величиной  $\tau_n$ . Совокупность процессов функционирования с аналогичной структурой и одинаковой схемой поведения составляет вид деятельности системы (класс процессов). Каждый процесс одной и той же деятельности может находиться в данный момент на разных этапах выполнения (активен, приостановлен, пассивен, завершен)<sup>77</sup>.

### *Построение системного эталона на основе синтеза рассмотренных системных представлений*

Прежде чем приступить к конкретному системному исследованию, каждый исследователь ориентируется на определенный эталон системы, который обычно формируется стихийно и, как правило, не фиксируется в явном виде. Одна из задач общей теории систем и состоит в том, чтобы построить и описать системные эталоны, используемые в науке и технике, причем многообразие значений понятия «система» неизбежно влечет за собой возможность различных подходов к построению системного эталона. Способы синтеза системных представлений в системный эталон зависят от конкретных задач, которые приходится решать исследователям. Для конкретных задач могут быть использованы частные системные эталоны, но в учебных целях следует использовать обобщенный системный эталон, из которого частные эталоны могут быть получены путем исключения из них тех или иных компонентов.

Наиболее полное описание системного эталона предполагает наличие всех рассмотренных системных представлений. Возможный способ синтеза системных представлений в обобщенном системном эталоне представлен на рис. 76. Каждое состояние системы должно быть представлено как совокупность системы и системного окружения, сама же система может принять вид иерархии единиц вплоть до предельного уровня иерархии. Одновременно каждая единица системы должна быть представлена как совокупность функциональных мест и отношений, имеющих определенную структуру. Процессуальное,

<sup>77</sup> Подробнее см.: *Горохов В. Г.* Методологический анализ системных представлений в алгоритмических языках имитационного моделирования. В кн.: Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1980. М.: Наука, 1981.

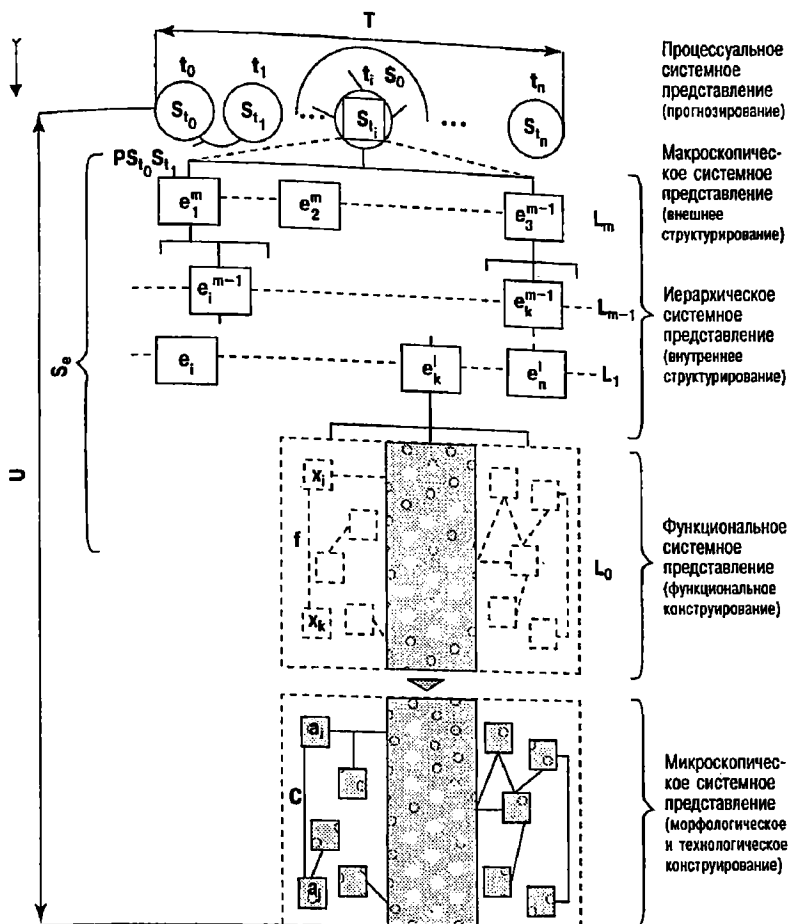


Рис. 76. Синтез системных представлений в системном эталоне

$T$  – период жизни системы;  $t_0, t_1 \dots t_n$  – внутреннее время системы;  
 $S_{t_0}, S_{t_1} \dots S_{t_n}$  – совокупность состояний за период жизни;  $PS_{t_0} S_{t_1}$  – связь перехода между состояниями  $S_{t_0} S_{t_1}$ ;  $S_{t_i}$  – состояние системы в данный момент;  
 $S_0$  – системное окружение;  $S_e$  – системная иерархия;  $L_1, L_2 \dots L_n$  – уровни иерархии;  
 $e$  – единица;  $U$  – уровень анализа;  $x_i$  – функциональное место;  
 $f, x_i, x_k$  – отношения между  $x_i$  и  $x_k$ ;  $a$  – элемент;  $C(a_i, a_j)$  – связь между  $a_i, a_j$ ;

→ направление движения по системному эталону

макроскопическое, иерархическое, функциональное и микроскопическое представления взаимодополняют друг друга. Например, процессуальное представление системы может быть более полно описано с точки зрения изменения структуры данной системы, функциональное существенно дополняет микроскопическое представление: при описании структуры системы выделяются одновременно и функциональные характеристики ее элементов.

Обобщенный системный эталон предполагает определенный способ «движения» по нему. Из предыдущего изложения очевидно, что период существования системы, системное окружение и наполнения функциональных мест должны быть заданы извне. Это предопределяет способ «движения» от одного представления к другому: от процессуального к макроскопическому и далее через иерархическое к функциональному, а от него к микроскопическому системному представлению. Последовательность представлений системы «процессуальное — функциональное — макроскопическое — иерархическое — микроскопическое» определяется характером исследования системного объекта. Определению процессуальных характеристик этого объекта всегда сопутствует его функциональное — статическое — описание процессов функционирования. Иерархическое системное представление определяет процедуру «функционального вложения» подсистем друг в друга, многократно повторяющуюся. Макроскопическое и микроскопическое представления системы являются развернутыми описаниями верхнего и нижнего пределов данной исследовательской процедуры.

Этот порядок перехода сохраняется и для частных вариантов системных эталонов, которые могут быть следующими:

- отсутствует процессуальное представление — исследование начинается с системного окружения;

- системная иерархия сокращена до одного уровня иерархии (при прочих равных условиях);

- выполняется второе условие и, кроме того, отсутствует процессуальное представление системы.

Каждое системное представление также может использоваться в качестве системного эталона.

Рассмотренные системные представления и понятия относятся к уровню общенаучной методологии и могут быть по-разному конкретизированы в рамках различных областей науки и техники. Сложная система может быть описана извне (с точки зрения ее взаимодействия с окружающей средой), изнутри (как состоящая из совокупности компонентов), с позиции структуры этих компонентов и т. д. Аспект рассмотрения обычно зависит от исследователя. С точки зрения системного подхода важно получить именно целостное представление об исследуемом в различных научных и технических дисциплинах сложном системном объекте, объединяющее частичные представления специализированными и междисциплинарными исследованиями одного и того же объекта изучения понимается как конфликт между «целым»

и «частями». Для определения способов решения этой проблемы необходимо описать возможные подходы к проблеме целостности, имеющиеся в современной науке.

Будем рассматривать эти подходы в методологическом плане как различные приемы исследования систем, исходя из общей классификации подходов к целостности как этапов исследовательской процедуры:

### 1. Целое не состоит из частей

#### 1.1. Динамический подход

объяснение посредством прошлого – генетический подход

- целое возникает из суммы частей (целых) – интеграция
- целое возникает из другого целого

объяснение посредством будущего состояния – финалистское объяснение

- целое переходит в другое целое
- целое переходит в сумму целых – дезинтеграция

#### 1.2. Статический подход

целое объясняется посредством внешних характеристик исследуемого объекта, т. е. с точки зрения системного окружения (без отнесения связей к внешним объектам)

целое объясняется посредством суммы целых, т. е. за счет отнесения внешних связей к внешним объектам)

### 2. Целое состоит из частей: подход «часть – целое»

#### 2.1. Аналитический подход – объяснение части (целого) посредством целого

целое равно сумме частей (аддитивность)

целое не равно сумме частей

- целое больше суммы частей – целостность частей меньше целостности системы (*супераддитивность* – избыточность определения частей)
- целое меньше суммы частей – целостность частей больше целостности системы (*субаддитивность* – недостаточность определения частей)

#### 2.2. Синтетический подход – объяснение целого посредством его частей

целое равно сумме частей (части не являются целыми, т. е. не существуют самостоятельно вне данного целого)

целое не равно сумме частей (части являются целыми, так как их существование не сводится к существованию в данном целом)

- целое больше суммы частей – целостность частей меньше целостности системы (недостаточность определения целого через части: части существуют отдельно, но не в том же самом виде, что и в целом)
- целое меньше суммы частей – целостность частей больше целостности системы (*избыточность определения целого*: части существуют отдельно и в том же самом виде, что и в целом)

### 3. Целое состоит и не состоит из частей

#### 3.1. Вложение внутренней структуры во внешнюю

#### 3.2. Динамическое объяснение структуры системы с выделением инвариантов в этой структуре

### 4. Имманентный характер целого – объяснение целого через самое себя (описание имманентных законов развития и функционирования системы).

Проблема целостности, таким образом, рассматривается с использованием статического и динамического способов описания системы.

*Статический способ* — это сведение целого к фиксированным характеристикам. Если рассматривать систему с внешней позиции, то как целое она не состоит из частей, а сама представляет собой часть объемлющей системы — целостный объект объясняется посредством внешних характеристик с точки зрения системного окружения. Если же рассматривать систему с внутренней позиции, то она предстает как состоящая из частей целостная структура. В последнем случае следует различать аналитический и синтетический методы решения проблемы целостности.

Аналитический метод — это объяснение исследуемого целого посредством других целых, более низкого уровня, составляющих данное целое, т. е. иерархическое представление системы. Синтетический метод также позволяет описать целое с помощью его частей, однако ход объяснения в данном случае противоположный: целое определенного уровня иерархии составляется из целостных частей, принадлежащих более низкому уровню иерархии. Аналитический и синтетический методы могут основываться на принципах аддитивности, супераддитивности или субаддитивности.

Согласно принципу аддитивности целое равно сумме частей. При использовании аналитического метода целостный объект системного исследования объясняется исходя из целостностей более низкого уровня иерархии, являющихся частями данного целого, и сводится к ним. В этом случае части не являются целыми и не существуют самостоятельно вне данного целого. При использовании синтетического метода целое может быть сведено к сумме составляющих его частей, поскольку принцип расчленения известен заранее из предшествующей аналитической процедуры.

С точки зрения принципов супераддитивности и субаддитивности целое не равно сумме частей — части сами представляют собой целые другого уровня. Их существование не сводится к функционированию в исследуемом целом. Субаддитивность (целое меньше суммы частей) предполагает, что целостность частей больше целостности системы. Требования, налагаемые частями на структуру данной системы, оказываются более сильными, чем исходные требования, предъявляемые к целому. Это приводит к недостаточности определения частей как специфических целых. В определении целого нет многих характеристик частей, поскольку они теряются при таком сведении целого к частям. Части существуют отдельно в том же виде, как и в исследуемом целом. Поскольку согласно принципу субаддитивности целостность частей больше целостности системы, наблюдается избыточность определения целого с помощью его частей.

Супераддитивность (целое больше суммы частей) означает, что целостность частей меньше целостности системы. В этом случае только исходя из целого можно объяснить его части. В таком определении содержатся характеристики, относящиеся к системе в целом, но не присущие частям. Кроме того, подразумевается относительная независимость целого от частей. Части могут существовать вне данного целого, но уже в другом виде. Тот факт, что целостность частей в данном случае меньше целостности системы, обуславливает недостаточность определения целого с помощью его частей.

*Динамический способ описания системы* — это рассмотрение данной целостности как развивающейся системы, описание целого посредством прошлого (генетическое объяснение) и будущего (целенаправленное финалистское объяснение) состояния.

При генетическом объяснении ход объяснения совпадает с ходом реального процесса развития объекта изучения, т. е. «движения» объекта в историческом времени. Ход объяснения представляет собой движение по объекту с целью исследования его структуры или этапов развития последней, может совпадать с основными этапами развития этого объекта, а может быть и противоположен ему, если, например, предшествующее состояние объясняется с помощью последующего состояния. Таким образом, при генетическом объяснении данное целое может рассматриваться как возникающее из суммы целых (интеграция). Кроме того, целое описывается как возникшее из другого целого и объясняется с его помощью. Объект системного исследования состоит из суммы таких частей, которые существовали как целые и до того, как из них составила система, а в совокупности из них получилась новая целостность. Система как целое возникает из другого целого.

Целенаправленное (финалистское) объяснение предполагает ход объяснения, не совпадающий с ходом реального развития. Исследуемое целое объясняется посредством его «конечного» состояния или, точнее, с помощью представления его «конечного» состояния — посредством цели его развития. Данное целое переходит либо в другое целое, либо в сумму целых — частей. Превращение целого в сумму частей называется дезинтеграцией. Сложная система может быть описана как заменяемая через определенное время более совершенной системой и в то же время как система, разлагающаяся в процессе дезинтеграции на составные части (самостоятельные целые).

Приведенные подходы к проблеме целостности могут быть объединены и рассмотрены как взаимодополняющие аспекты единого подхода. С этой целью производится «вложение» внутренней структуры системы во внешнюю и их соотнесение в определенной окружающей среде. Объединяются два подхода «часть — целое» и «система — системное окружение», что дает более полное представление о целостности объекта. Синтетический метод решения проблемы целостности всегда опирается на аналитический. Такое описание должно быть дополнено динамическим объяснением внутренней и внешней структуры системы. Это позволяет вскрыть механизмы развития системы в развивающейся среде и выделить инварианты ее структуры. Может использоваться какой-либо один метод, а остальные будут рассматриваться как вспомогательные, хотя и существенные, моменты исследования.

### *От теории цепей к теории систем*

Системный подход и системные представления в области технических наук развивались за счет обобщения теоретических описаний объекта исследования и проектирования при переходе от относительно простых технических систем к сложным системным комплексам. Попытки обобщенного описания электрических цепей были исходными в процессе движения к выработке общей теории технических систем.

Теория цепей развивалась параллельно как теория электрических и теория кинематических цепей. Поскольку последнюю теорию мы рассмотрели в предыдущем разделе, остановимся на теории электрических цепей и систем, в которой и зародились главным образом первые системные представления.

### *1) Теоретическое описание электрических цепей*

Задача теоретического описания электрических цепей была обусловлена усложнением инженерных задач по их расчету и проектированию, в связи с чем оказалось недостаточно тех средств, которые были развиты в классической электродинамике и теории электричества. «Теория цепей как самостоятельная дисциплина со своими собственными представлениями и методами возникла из общей электромагнитной теории задолго до 1914 г. Уже прочно утвердилось рассмотрение цепи как системы с идеализированными сосредоточенными элементами — изображения банки и реостата были вытеснены привычными теперь для нас графическими символами»<sup>78</sup>. Развитие теоретических представлений в этой области потребовало введения новых идеализаций. «Так, первые схемы электрических цепей представляли собой условные упрощенные изображения реальных электрических устройств, зарисовки схем соединения в электротехнических установках катушек индуктивности, конденсаторов, приемников, измерительных приборов, генераторов и т. д. Эти схемы использовались как вспомогательные знаковые изображения, позволяющие строить векторные диаграммы процессов в электротехнических установках с учетом устройства последних. Они обеспечивали при расчете согласование данных, получаемых из векторных диаграмм, со значениями токов и напряжений, измеряемыми непосредственно на электротехнических устройствах и входящими в техническое задание»<sup>79</sup>.

Главные элементы структурной схемы в теории электрических цепей — это источник электрической энергии, нагрузка (приемник электрической энергии) и связывающие их идеализированные конструктивные элементы, абстрагированные от многих параметров реальных конструктивных элементов, упоминающихся в инженерных каталогах. Для идеализированных элементов структурных теоретических схем вводятся специальные условные изображения. В процессе развития элементной базы электро- и радиотехники появились новые конструктивные блоки, имеющие иную физическую основу, например цепи с распределенными постоянными, интегральные схемы и др.

<sup>78</sup> *Белевич В.* Краткая история развития теории цепей // Труды института радиоинженеров, 1962, т. 50, № 5, часть 1, с. 869.

<sup>79</sup> *Симоненко О. Д.* Электротехническая наука в первой половине XX века. М.: Наука, 1988, с. 101.



Таким образом, структурное теоретическое описание электрической цепи было обобщено применительно к различным классам таких элементов, которые по своему внешнему виду и физической сущности совершенно непохожи на их теоретические изображения.

Именно так представляются так называемые распределенные элементы (например, проводники и длинные линии) — в виде совокупности «концентрированных» элементов, т. е. двухполюсников. Это привело к еще большей идеализации таких представлений (см. рис. 77 а и б).

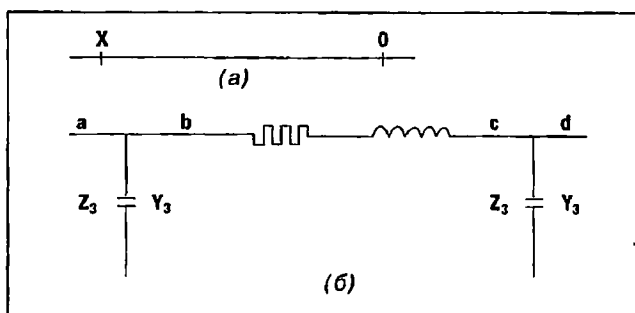


Рис. 77. Линия с распределенными постоянными (а) и эквивалентная ей П-образная схема с сосредоточенными постоянными (б), 1935 г.<sup>80</sup>

Итак, теория электрических цепей имеет дело не с огромным разнообразием конструктивных элементов электротехнической системы, отличающихся характеристиками, принципом действия, конструктивным оформлением и т. д., а со сравнительно небольшим количеством идеальных элементов и их соединений, представляющих эти идеальные элементы на теоретическом уровне. К таким элементам относятся прежде всего емкость, индуктивность, сопротивление, источники тока и напряжения. Следующим уровнем идеализации в теории электрических цепей стали поточные схемы, отображающие электромагнитный процесс, протекающий в электротехническом устройстве при его функционировании<sup>81</sup>. Сама электрическая цепь на этих схемах представляется совокупностью элементов и связей, формирующих путь для электрического тока, основные параметры которого (для синусоидального тока) — напряжение, сила, мощность, амплитуда, фаза и частота.

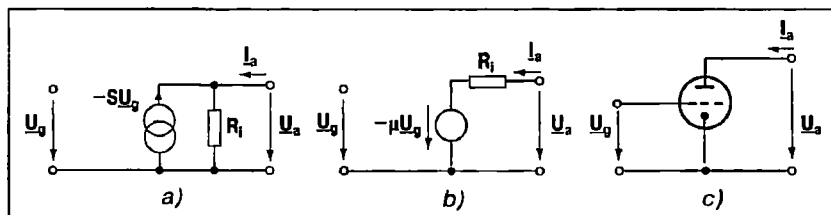
Для применения математического аппарата требуется дальнейшая идеализация: каждый из элементов электрической цепи может быть рассмотрен как активный (идеальные источники тока или напряжения) или пассивный (комплексное — линейное омическое и

<sup>80</sup> Симоненко О. Д. Указ. соч., с. 109, рис. 11.

<sup>81</sup> Представление об электрическом токе как движении зарядов, например, относится к теоретическим объектам другого уровня.

нелинейные индуктивное и емкостное сопротивления) двухполюсник, т. е. участок цепи, через которую течет электрический ток, с двумя полюсами, к которым приложена разность потенциалов. Таким образом, любой элемент электротехнической цепи рассматривается как *идеальный двухполюсник*, чье действие на проходящий через него ток описывается линейным уравнением.

К таким двухполюсникам относятся линейные пассивные элементы электрической цепи, которые могут быть постоянными и переменными, — реактивное (омическое), индуктивное и емкостное сопротивления (получившие обобщенное название комплексного сопротивления, поскольку в реальном резисторе, конденсаторе или катушке индуктивности присутствуют все эти три типа сопротивлений), а также идеальный диод, ключевой элемент цепи, проводящий ток только в одном направлении. Кроме того, в них обязательно включаются активные двухполюсники — идеальные источники тока и идеальные источники напряжения. Несколько сложнее обстоит дело с нелинейными элементами, которые сначала замещаются эквивалентными схемами, содержащими линейные элементы. Все элементы электрической цепи должны быть приведены к указанному виду. В зависимости от режима функционирования технической системы одна и та же схема может иметь различный вид (на рис. 78 приведены примеры замещения сложного элемента электрической цепи — электронной лампы — двухполюсниками).



**Рис. 78.** Примеры эквивалентных электрических схем электронной лампы (триода) для переменного тока

- a) эквивалентная схема с использованием источника тока с регулируемым напряжением;  
 b) эквивалентная схема с использованием источника напряжения с регулируемым напряжением; c) электрическая схема с символическим изображением электронной лампы, подлежащей замещению в предыдущих схемах замещения <sup>82</sup>

Режим функционирования технической системы определяется прежде всего тем, какой естественный (в данном случае физический) процесс через нее протекает <sup>83</sup>, т. е. какой электрический ток (постоянный или переменный, периодический или непериодический и т. д.) течет через цепь. В зависимости от этого и элементы цепи на схеме функционирования меняют вид.

<sup>82</sup> Steinbuch K., Rupprecht W. Nachrichtentechnik. Eine einführende Darstellung. Berlin, Heiderberg, New York: Springer-Verlag, 1973, S. 113.

<sup>83</sup> Точно так же, как о потоках жидкости, говорят и о распространении теплоты, «хотя физики, само собой разумеется, знают, что никакого «течения теплоты» не бывает, а речь идет о движении молекул» (Von Bertalanffy L. Das biologische Weltbild. Bd. 1. Die Stellung des Leben in Natur und Wissenschaft. Bern: A. Francke AG. Verlag, 1949, S. 186). Точнее, речь идет об иной модели описания этих процессов.

Например, при постоянном токе индуктивность представляется идеальным омическим сопротивлением, при переменном токе низкой частоты — последовательно соединенными идеальными омическим и индуктивным сопротивлениями, а при переменном токе высокой частоты поточная схема дополняется еще одним параллельно присоединяемым идеальным элементом — емкостным сопротивлением (рис. 79).

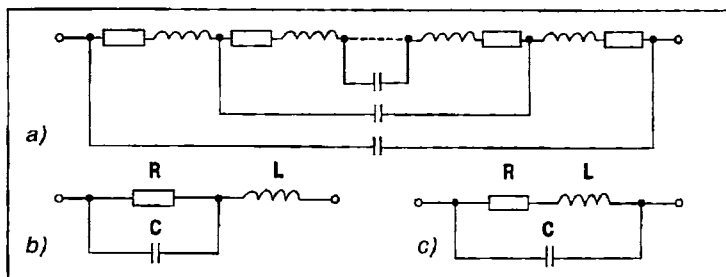


Рис. 79. Эквивалентная электрическая схема резистора (сопротивления)

a) полная, b) и c) — упрощенные<sup>84</sup>

Для каждого вида физического процесса применяется соответствующий математический анализ поточной схемы технической системы в каждом определенном режиме ее функционирования. Теория цепей «становится почти полностью математической дисциплиной. Оговорив для заданного типа схемы ряд необходимых и достаточных условий, мы теперь требуем, возможно, даже большего, чем может обычно дать математика. Мы требуем не только того, чтобы ряд условий был достаточным, но также и того, чтобы он был реальным, в котором условия действительно предопределяли бы средства синтеза рассматриваемых схем. Такой синтез включает в себя как определение отдельных привлекаемых схем, так и определение величин их элементов. Более того, мы требуем, чтобы условия достаточности были представлены в легко анализируемой форме, прежде чем приступить к фактическому синтезу схемы. В любой частной задаче ответ будет зависеть от вида рассматриваемой цепи, т. е. как от ее построения, так и от типа элементов, входящих в нее»<sup>85</sup>.

Например, для разных типов функционирования электрической цепи используются различные математические схемы: для анализа цепей постоянного тока и синусоидального тока — как правило, векторные потенциальные диаграммы, для переходных процессов — операторные схемы, основанные на преобразованиях Лапласа, для расчета цепей, в которых протекают периодические синусоидальные процессы, — ряды Фурье и т. д. В то же время общая физико-математическая методика решения электротехнических

<sup>84</sup> Steinbuch K., Rupprecht W. Указ. соч., S. 134.

<sup>85</sup> Фостер Р. Чисто теоретическое и прикладное значение теории цепей // Труды института радиоинженеров, 1962, т. 50, № 5, часть 1, с. 888–889.

задач стала «основанием для выделения при систематизации полученных результатов ... ряда универсальных теоретических представлений и приемов исследования ...»<sup>86</sup>. Кроме того, задается графическая форма математического описания состояния электрической цепи в виде функциональной схемы.

Каждому функциональному элементу такой схемы соответствует определенное математическое соотношение (скажем, между силой тока и напряжением на некотором участке цепи) или определенная математическая операция (дифференцирование, интегрирование и др.). Порядок расположения и характеристики функциональных элементов должны быть адекватны электрической схеме. Так, при расчете электрических цепей с помощью теории графов элементы электрической схемы – индуктивности, емкости, сопротивления и др. – замещаются по определенным правилам особым идеализированным функциональным элементом – унистором (т. е. идеальным диодом), который имеет только одно функциональное свойство – пропускать электрический ток лишь в одном направлении. К полученной после такой замены однородной теоретической схеме могут быть применены топологические методы анализа электрических цепей. В качестве такой функциональной схемы может быть использована потенциальная диаграмма, позволяющая весьма быстро находить напряжения между любыми точками электрической цепи. Каждой точке цепи соответствует определенная точка потенциальной диаграммы по построению. Действующее значение и фаза исходного напряжения определяются прямой, соединяющей соответствующие точки потенциальной диаграммы. Для такой замены используются различные методы – комплексный, контурных токов, узловых напряжений, наложений и др. На основе функциональной схемы составляется система уравнений, которая решается с помощью определенных математических методов (например, матричных). Эти уравнения получаются на основе физических законов (Ома, Кирхгофа и др.), устанавливающих, например, зависимость между параметрами протекающего в цепи электрического тока и ее элементами. Известные из условий задачи их конкретные числовые значения позволяют в результате решения данных уравнений вычислять неизвестные параметры тока и элементов цепи.

На функциональной схеме решается математическая задача с помощью стандартной методики расчета типовых способов решения задач на основе применения ранее доказанных теорем. Для этого функциональная схема по определенным правилам преобразования приводится к типовому виду.

Так, в теории электрических цепей смешанные соединения преобразуются в более простые последовательные и параллельные соединения, многоконтурные схемы – в одноконтурные и т. д. Для описания такого рода упрощающих преобразований в теории электрических цепей специально доказываются эквивалентность некоторых типовых схем («треугольника» и «звезды» и другие) и особые теоремы (например, об эквивалентном источнике тока и напряжения), позволяющие получать более удобные для расчета схемы. Это дает возможность заменять определенные участки цепи другими, эквивалентными им и упрощающими схему, а следовательно, и последующий ее математический расчет.

«Таким образом, теория цепей содержит иерархическую систему идеализированных объектов изучения, из которой для решения определенного класса задач выбирается та или иная теоретическая модель

---

<sup>86</sup> Симоненко О.Д. Указ. соч., с. 98.

(тот или иной идеализированный объект или их совокупность и та или иная форма ее математического описания — дифференциальные уравнения, векторные диаграммы, матрицы, графы). Принципы выбора и примеры расчета включаются в учебники наряду с изложением теории»<sup>87</sup>.

Одной из таких функциональных схем стали операторные схемы, использующие для анализа электрических цепей операционное исчисление, возникшее сначала как частный методический прием для инженерных расчетов, а затем обобщенное для любых электрических схем. Впоследствии операторное исчисление было переработано в еще более абстрактную форму и нашло применение в разнообразных областях науки и техники. «О. Хэвисайд при исследовании в конце XIX в. переходных явлений в телефонных линиях связи разработал и применил операционное исчисление, явившееся эффективным аппаратом математического исследования многих прикладных вопросов, особенно тех, которые связаны с решением линейных дифференциальных уравнений. Однако этот метод не был им строго обоснован с математической точки зрения. простота и эффективность этого метода при исследовании переходных явлений в электрических цепях были разительным очевидным фактом. Метод Хэвисайда в 1920-х гг. стал предметом специальных математических исследований, и его строгое обоснование в трудах Д. Карсона, Т. Бромвича, К. Вагнера, П. Леви положило начало операционному исчислению как области математики»<sup>88</sup>.

Элементы эквивалентной операторной схемы выполняют в ходе функционирования электрической цепи математические операции над протекающим в ней физическим процессом (электрическим током). Уравнения Кирхгофа, описывающие течение физического процесса, и уравнения, описывающие воздействие двухполюсника на этот процесс, позволяют составить необходимое количество уравнений, связывающих токи и напряжения на элементах с учетом их соединения в цепи, т. е. отображающих математические соотношения между этими элементами. Существуют определенные правила преобразования таких операторных схем: например, вынесение источника напряжения за узел или внесение источника в контур, которые упрощают такую схему и, в конечном итоге, приводят ее к «скелетной» (математической) схеме, где ветви изображаются просто линиями, а узлы — точками. Именно с помощью скелетной схемы составляются необходимые системы уравнений, решение которых позволяет рассчитать параметры цепи, и доказываются теоремы. Причем одна и та же операторная схема может быть различным образом представлена в виде скелетной схемы.

Таким образом, схемы замещения различного уровня абстракции «исторически вырабатывались в значительной степени порознь, индивидуально в отдельных направлениях исследований. Сюда следует отнести изучение трансформаторов, электрических машин, длинных линий в силовоточной электротехнике, а также теоретические исследования в области телеграфии и телефонии. При распространении

---

<sup>87</sup> Симоненко О.Д. Указ. соч., с. 106.

<sup>88</sup> Там же, с. 125.

и передаче знаний в электротехническом сообществе результаты, полученные при рассмотрении отдельных вопросов, сопоставлялись, систематизировались и получали общее обоснование...». Например, исследование трансформаторов в сильноточной электротехнике, в которой были построены одни из первых схем замещения, происходили независимо от изучения электрических машин. Однако «аналогичный характер уравнений в комплексной форме для трансформаторов и машин позволил сформулировать идею «всеобщего трансформатора» (Ч. Штейнмец)... что способствовало переносу ряда физических представлений и теоретических построений, в том числе схем замещения, в теорию электрических машин»<sup>89</sup>. Именно так происходило обобщение в рамках теории электрических цепей.

В дальнейшем формируются еще более общие для всех видов цепей методы их представления. Это прежде всего *теория четырехполюсников*, которая постепенно становится достаточно абстрактной и уже содержит в себе некоторые черты системных представлений. «Теория четырехполюсников дает возможность пользоваться единым методом для анализа самых различных по принципу действия и структуры устройств (фильтры, трансформаторы, линии передачи, усилители и др.). Это обусловлено тем, что четырехполюсник как идеализированный объект теории получается при таком способе рассмотрения электрической цепи, когда отвлекаются от ее внутренней структуры (схемы и параметров), учитывая эту структуру косвенно, через коэффициенты уравнений, описывающих зависимости между напряжениями и токами на внешних (первичных и вторичных) зажимах цепи. Такое представление возможно на основе представления об электрической цепи как обобщенном идеализированном объекте изучения»<sup>90</sup>. Это представление легло в основу представления о «черном ящике» в кибернетике, т. е. о системе, изучаемой извне, без изучения ее внутренней структуры, и о «поточной системе», развитого в системотехнике, например в работах Гослинга<sup>91</sup>.

Четырехполюсник представляет собой обобщенную систему (абстрактный объект), имеющую два входа и два выхода, к которой приводятся многочисленные конструктивные идеальные блоки: фильтры, контуры, усилители и др. Представление о четырехполюснике вводится для перехода к математическим соотношениям, позволяющим представить уравнения, составленные на основе законов Кирхгофа, которые описывают движение тока в контуре с четырехполюсником, в матричной форме. Решая данные уравнения с помощью теории матриц, можно определить искомые конструктивные параметры четырехполюсников: входное сопротивление, мощность на входе и выходе, вносимое затухание и др. В теории четырехполюсников доказывается ряд теорем (обратимости, об эквивалентном генераторе и др.), что позволяет не только упростить расчеты, но и синтезировать новые схемы путем дедуктивного эквивалентного преобразования четырехполюсников. Два четырехполюсника называются эквивалентными, если

<sup>89</sup> Симоненко О.Д. Указ. соч., с. 107, 110.

<sup>90</sup> Там же, с. 106.

<sup>91</sup> Gosling W. The Design of Engineering Systems. L., Heywood and Co. Ltd. 1962.

в электрической цепи они вызывают одинаковое действие, т. е. распределение токов и напряжений во внешней цепи, подключаемой к четырехполюснику, не изменяется при замене одного четырехполюсника другим. При анализе сложных схем их предварительно преобразуют в соединение более простых четырехполюсников, параметры которых содержатся в специальных таблицах. Затем по матрицам каждого из них производятся математические операции над ними в зависимости от типа соединения. Такое преобразование позволяет найти наиболее экономичные и эффективные инженерные решения (рис. 80).

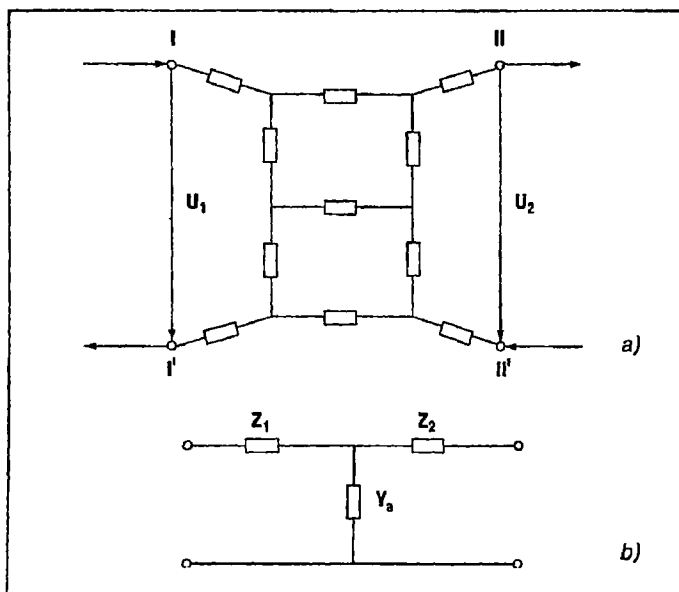


Рис. 80. Четырехполюсник — к введению понятия в 1933 г.<sup>92</sup>

a) в виде электрической цепи с произвольными постоянными кажущимися сопротивлениями; b) схема замещения линии передачи

Каждый четырехполюсник в процессе функционирования технического устройства определенным образом преобразует электромагнитные колебания и характеризуется определенными параметрами. Причем техническая система может быть представлена в виде цепочки блоков, каждый из которых преобразует один из параметров электромагнитных колебаний. К таким блокам относятся: генератор (преобразует какой-либо вид энергии в электромагнитные колебания), модулятор (позволяет изменять соответствующую характеристику электромагнитного колебания по определенному закону, например амплитуду, частоту или фазу), фильтр (отфильтровывающий помехи), усилитель (устройство, увеличивающее колебания только по амплитуде — их фазовые и частотные соотношения должны передаваться без изменений) и др. Этим обусловлено и основополагающее понятие кибернетики — понятие обратной связи, которое означает в наиболее абстрактном виде обратную подачу сигнала с выхода четырехполюсника, например

<sup>92</sup> Симоненко О. Д. Указ. соч., с. 105, 103.

усилителя, через электрическую цепь (в общем виде через пассивный четырехполюсник) на его вход. Если с помощью обратной связи усиление сигнала во всей системе уменьшается, это свидетельствует о наличии отрицательной обратной связи, если же увеличивается – о наличии положительной обратной связи (рис. 81).

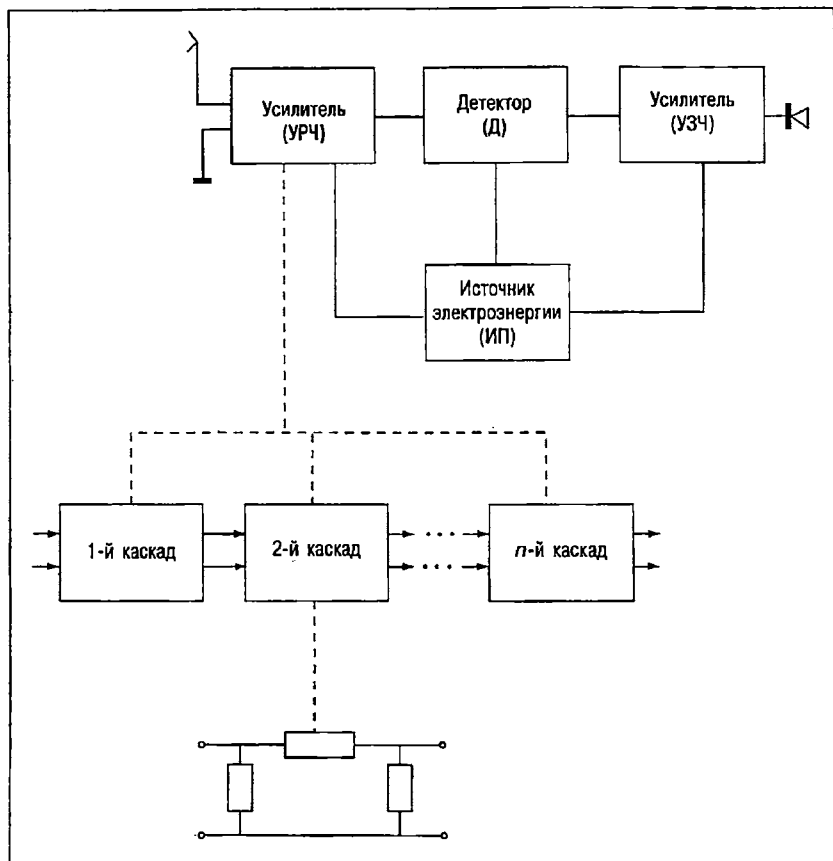


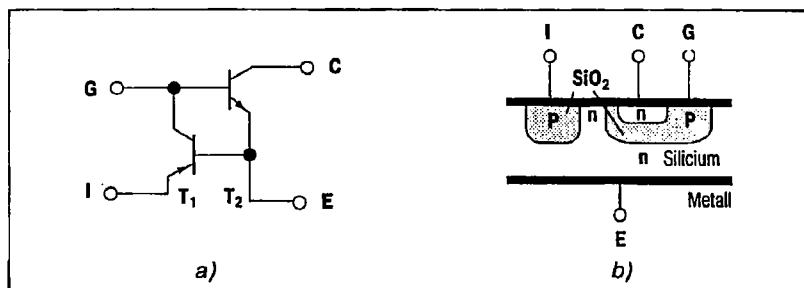
Рис. 81. Четырехполюсник – усилитель с каскадами

Однако независимо от наполнения и выполняемой функции каждый блок представляет собой *преобразователь* сигнала по определенным его параметрам, т. е. систему с двумя входами и выходами. Если отвлечься от неизбежных в электрических цепях потерь и помех, то можно говорить об идеальных четырехполюсниках и двухполюсниках, как идеализированных объектах теории цепей. Из их соединения между собой идеальными проводниками (т. е. не обладающими омическим, индуктивным или емкостным сопротивлением, в которых не происходит потерь электрической энергии) возникают цепи. Тогда



предметом анализа теории цепей является вычисление электрических отношений между узлами (т. е. соединение двух или более элементов) или парами узлов цепи. Синтез новых цепей проводится в целях их проектирования. В принципе, если четырехполюсник выполнен в виде интегральной схемы, его разбиение на двухполюсники не представляет интереса для проектировщика.

Интегральная схема представляет собой монолитный модуль (компонент системы), называемый также твердотельной схемой или микросхемой, в которой активные и пассивные элементы электронной цепи (например, транзисторы, сопротивления, конденсаторы и др.) встроены в полупроводниковый кристалл. Каждая такая микросхема может представлять собой готовый блок – четырехполюсник (например, усилитель или несколько каскадов усилителя), выполняющий определенные функции, структура которого не имеет принципиального значения для монтажа или расчета целой технической системы (рис. 82).



**Рис. 82. Четырехполюсник — пример интегральной схемы**

- a)* схемное включение в виде эквивалентного четырехполюсника;  
*b)* схематическая структура интегральной схемы

Таким образом, уже в теории электрических цепей (ТЭЦ) намечилось обобщение в теории двухполюсников, и прежде всего четырехполюсников, приведшее к выработке системного представления сложных технических систем. Еще одним важным аспектом осознания системности в теории цепей и инженерной практике становится создание и постоянный рост больших телеграфных и энергетических сетей.

Что касается электромагнитного телеграфа, то его системное значение отмечал еще первый философ техники из Германии Эрнст Капп<sup>93</sup>. Он сравнивал телеграф с нервной системой человечества<sup>94</sup>.

<sup>93</sup> Эрнст Капп (1808–1896) был первым, кто в заголовке своей работы соединил казавшиеся ранее несовместимыми понятия «философия» и «техника». В 1877 г. он выпустил книгу под названием «Основные направления философии техники» (Kapp E. Grundlinien einer Philosophie der Technik. Braunschweig, 1877).

<sup>94</sup> См.: Роль орудий труда в истории человечества. М.: Прибой, 1925, с. 124–127.

Кроме того, именно в теории связи, основанной на теории анализа телеграфных (а позднее радиотелеграфных, телефонных и радиотелефонных) сетей и сообщений, были впервые сформулированы понятие сигнала и общая схема передачи сообщений, составившие суть теории информации. Сигнал рассматривается в теории связи как носитель информации, имеющий различную физическую природу, один (или несколько) из параметров которого закодирован определенным образом. Закодированная в сигнале информация от источника информации передается с помощью передатчика через проводные или беспроводные каналы связи, принимается и декодируется приемником для того, чтобы быть переданной пользователю (рис. 83).

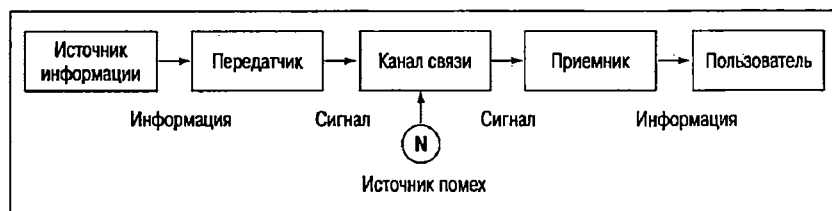


Рис. 83. Общая схема передачи информации

Огромное значение для становления теории информации сыграли теория расчета помехоустойчивости каналов передачи сообщений и развитие в ней методов устранения помех<sup>95</sup>. Связанная с расчетом коммутирующих коммуникационных цепей логика переключаящих схем, основанная на булевой алгебре, привела к формированию теории вычислительных машин<sup>96</sup>. Этому способствовало также применение для реализации автоматического регулирования аналоговой вычислительной техники, что привело к расширению арсенала четырехполосников за счет интеграторов, множительных устройств, делителей, компараторов (сравнивающих устройств) и др., реализующих в электрических цепях математические операции над параметрами электрического тока<sup>97</sup>.

Энергетические же сети призваны обеспечивать электроэнергией города и деревни, целые регионы и страны. Именно такие сети создают ощущение динамики растущих систем<sup>98</sup>. В теоретической сфере это означало развитие теории сетей, необходимой в первую очередь для расчета (например, энергетических потерь при передаче) и проектирования энергетических сетей высокого напряжения и переменного тока, дававших возможность передавать электрическую энергию на

<sup>95</sup> Одними из первых работ по теории информации были работы Шэннона по математической теории информации (см.: Шэннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Сов. Радио, 1963; Полетаев И.А. Сигнал (о некоторых понятиях кибернетики). М.: Сов. Радио, 1958).

<sup>96</sup> См., например: Steinbuch K., Rupprecht W. Nachrichtentechnik. Eine einführende Darstellung. Berlin, Heiderberg, New York: Springer-Verlag, 1973.

<sup>97</sup> Pestel E., Kolmann E. Grundlagen der Regeltechnik. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1968, S. 272.

<sup>98</sup> Kaiser W. Die Entwicklung der Elektrotechnik in ihrer Wechselwirkung mit der Physik. In: Naturauffassung in Philosophie, Wissenschaft und Technik. Bd. III. Aufklärung und späte Neuzeit. Freiburg/München: Verlag Karl Alber, 1995, S. 109–110.

большие расстояния и соединивших в единую систему производителей (например, динамо-машины, преобразующие механическую энергию в электрическую) и потребителей (например, световые источники, преобразующие электричество в свет и тепло, или электромоторы, осуществляющие обратный переход к механической энергии) электрической энергии. Кроме того, в зависимости от типа электрического тока, способов подключения проводки и регулирования работы сети возникла проблема выбора подходящей для каждого конкретного случая системы энергоснабжения.

Пионером в области передачи электрической энергии на большие расстояния был французский ученый Замсель Дебре, который начал проводить опыты еще в 1881–1882 гг. Этой же проблемой занимался, например, немецкий инженер Шуккерт, но Дебре наиболее продвинулся в решении этой научно-технической проблемы. Первый доклад Марселя Дебре по данному вопросу был сделан 19 сентября 1881 г. на Первом Всемирном конгрессе электричества в Париже. Первое экспериментальное подтверждение высказанных в докладе теоретических положений он получил в 1882 г. на Международной электрической выставке в Мюнхене (на расстоянии 57 км из Мисбах в Мюнхен по железным проводам). Комиссия, состоявшая из крупных электротехников того времени, признала эту установку выдающейся, тем более что рядом «нюрнбергский инженер Шуккерт передавал при помощи своих машин небольшую мощность всего на расстояние 5 км». Члены комиссии признали, что в области электричества не было получено столь же важного результата с момента изобретения телефона и этот успех «может произвести революционизирующее воздействие». Однако до 1890 г. такие установки были единичными. Сам Дебре следующим образом характеризует ситуацию в технике этого периода и значение своего открытия: «До сего времени продолжают рассматривать электричество с точки зрения телеграфии, иначе говоря, как предназначенное исключительно к производству точных, но весьма слабых механических эффектов. Всякий, кто глубже изучил электричество, знает, что область применения последнего бесконечно более обширна. Международная электрическая выставка убедила в этом даже тех, кто далек от науки. Из совокупности выставленных приборов явствует, что электричество способно к выполнению механических действий любой силы и передаче их на расстояние. Это новое использование электричества может привести к непредвиденным по своей важности последствиям»<sup>99</sup>.

Отдельные компоненты — динамо-машины, трансформаторы и др., представляющие собой четырехполюсники, — соединяются с помощью электрических проводников, которые обладают омическим, индуктивным и емкостным сопротивлением (т. е. теоретически представимы в виде двухполюсников) в целостную взаимозависимую систему более высокого уровня. Развитие теоретического исследования этих систем испытало сильное влияние развитой уже к этому времени электрической телеграфии, где, впрочем, использовались слабые токи и низкие напряжения по сравнению с сильноточной техникой. Это, однако, не мешало переходу ряда теоретических представлений отсюда в новую область теории цепей<sup>100</sup>. Следующим этапом было расширение

<sup>99</sup> Чернышев А. А. История передачи электрической энергии. В кн.: Архив истории науки. Л.: Изд-во АН СССР, 1934, вып. 4, с. 273–274.

<sup>100</sup> Herzog J., Feldmann C. Die Berechnung elektrischer Leitungsnetze in Theorie und Praxis. Berlin: Verlag von Julius Springer, 1921.

сферы исследования за счет включения иных типов цепей (например, кинематических) выработанными для анализа электрических цепей теоретическими методами, что привело к переосмыслению и переработке самих этих методов.

## 2) Междисциплинарные исследования различных типов цепей

К середине XX в. в теории цепей формируется новый этап — *междисциплинарное исследование различных типов цепей*, не только электрических, но и кинематических, гидравлических и др. «В 1950-х гг. ТЭЦ как теория цепей превратилась в междисциплинарную техническую теорию. Понятия, принципы анализа и математический аппарат, развитые первоначально в ТЭЦ, нашли применение в строительной механике, теплотехнике и других областях»<sup>101</sup>. В результате такого расширения области исследования происходит обмен методами и представлениями различных дисциплин, их изучающих, и обобщение этих технических теорий в *теории автоматического регулирования*. «В 20-х — 30-х гг. XX века появились и получили применение системы автоматического регулирования процессов горения, регулирования температуры воды и перегрева пара, питания котлов и давления пара в котельных агрегатах, системы регулирования давления в трубопроводах, регулирования температуры в сушильных установках и доменных печах, а также системы регулирования напряжения, мощности и частоты электрических генераторов»<sup>102</sup>. Первоначально все они исследовались и рассчитывались по-разному. Однако постепенно формируются общие методы расчета, анализа и синтеза следящих систем. Классическая теория цепей постепенно стала областью науки, которая отходит от анализа и синтеза лишь электрических цепей, содержащих стандартные RLC-элементы, превращаясь в специализированный раздел знания более широкой научной дисциплины — теории систем. «Отличительной чертой теории систем является ее всеобщность и абстрактность, то, что она математически рассматривает свойства систем, а не их физическую форму. Таким образом, для теории систем неважно, является ли система электрической, механической или химической. Главным являются математические соотношения между переменными, описывающими поведение системы»<sup>103</sup>.

Ситуация, сложившаяся в теории автоматического регулирования, была сходна с той, которая сформировалась в области электродинамики во времена Фарадея и Максвелла. Последние имели дело главным образом не с первичной эмпирией, а с определенным набором частных теоретических схем, которые и были ими обобщены:

<sup>101</sup> Симоненко О. Д. Указ. соч., с. 112.

<sup>102</sup> См.: Панин В. В. Первый период развития теории автоматического регулирования. — В сб.: XII научная конференция аспирантов и младших научных сотрудников ИИЕТ АН СССР. М.: ВИНТИ, 1969, с. 41. См. также: Bennet S. A History of Control Engineering, 1800–1930. L.; N.Y.: Inst. Elec. Eng., 1979.

<sup>103</sup> Заде Л. От теории цепей к теории систем // Труды института радиосинтезов, 1962, т. 50, № 5, часть 1, с. 878.

Фарадей построил обобщенную поточную, а Максвелл — функциональную теоретическую схему. В период становления теории автоматического регулирования уже появились такие классические технические науки, как теория механизмов и машин и теоретическая радиотехника и электротехника, поэтому ее формирование осуществлялось в двух основных направлениях: во-первых, обобщение уже выработанных в этих дисциплинах теоретических средств и способов решения типовых задач и, во-вторых, развитие единого математического аппарата.

- Первое направление получило развитие примерно в 40–50-х гг. XX в.:  
с одной стороны, с целью обобщения разработанных в теоретической радиотехнике способов анализа электрических цепей с использованием так называемых эквивалентных схем соответствующих эквивалентных преобразований<sup>104</sup>;  
с другой стороны, для классификации и структурного анализа систем автоматического регулирования (динамических цепей) были использованы и обобщены методы классификации и структурного анализа механизмов, выработанные в теории механизмов для исследования кинематических цепей<sup>105</sup>.
- Второе направление начало активно разрабатываться с 50-х гг., когда теорией автоматического регулирования занялись математики, что способствовало быстрому развитию линейной теории управления. В результате были разработаны единые математические методы анализа и синтеза систем автоматического регулирования практически любого типа независимо от способа их инженерной реализации<sup>106</sup>.

Это привело к выделению особого звена — регулятора механических, гидравлических, электрических и т. п. устройств, к которым наиболее хорошо применимы данные методы, как объекта исследования теории автоматического регулирования. Именно представление о системе автоматического регулирования послужило основой понятия обратной связи, обобщенного в кибернетике не только для различных технических, но и биологических и даже социальных систем. Система автоматического регулирования включает в себя контур регулирования, состоящий из объекта регулирования и регулятора. Задача регулятора в простейшем случае — контролировать с помощью измерительного устройства один из параметров (регулируемая величина)

---

<sup>104</sup> Одновременно был обобщен для широкого класса систем автоматического регулирования критерий устойчивости Найквиста, разработанный им для исследования электронного усилителя с отрицательной обратной связью (см.: Михайлов А. Метод гармонического баланса в теории автоматического регулирования. — Автоматика и телемеханика, 1938, № 3).

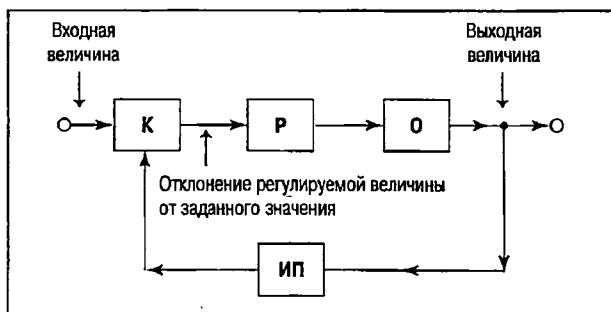
<sup>105</sup> См.: Гальперин И. И. Структурное исследование регулируемых систем. — Известия ВТИ, 1941, № 4.

<sup>106</sup> «По-видимому, теория автоматического регулирования — единственная область техники, целесообразность которой обусловлена не общностью решаемых проблем или машин, с которыми приходится иметь дело, а с математическими методами» (Ауслендер Д. М. Развитие науки об автоматическом управлении // Динамические системы управления. Труды американского общества инженеров-механиков, 1972, т. 94, № 1, с. 3).

регулируемого процесса. При наличии возмущающего воздействия, т. е. отклонения регулируемой величины от некоторого заранее заданного эталона, регулятор автоматически возвращает процесс в исходное состояние, откорректировав его на выявленную величину рассогласования эталонной величины и регулируемой переменной. Простейшим примером такого автоматического регулятора является регулятор Уатта для механических систем. В электрических цепях регулируется величина тока или напряжения, амплитуда или частота колебаний и т. д.

Проекция этого представления кибернетики на биологические и социально-экономические процессы и системы привела к обобщению понятия автоматического регулирования на представление о системах автоматического управления, а затем об автоматизированных системах управления, в которых основную функцию выполняет управленческая деятельность человека.

На рис. 84 показаны блоки, характерные практически и для системы автоматического регулирования: финансовые службы выполняют ту же роль, что и измерительное устройство, и, кроме того, сравнивают реальные финансовые достижения с планируемыми; роль управленческой деятельности (административного управления) подобна действию регулятора и заключается в принятии решения о том, какие действия предпринять, чтобы обеспечить желаемый результат, и в коррекции этих действий, если реальная прибыль по прогнозу сильно отличается от предполагаемой; наконец, если скорректированный курс действий определен, необходимо передать управляющее воздействие всем, кто имеет отношение к этому, чтобы они смогли осуществить необходимые изменения в производственной деятельности.



**Рис. 84. Система автоматического регулирования**

**К** — компаратор (сравнивающее устройство); **Р** — регулятор;

**О** — объект регулирования; **ИП** — измерительный преобразователь

В дальнейшем эта упрощенная исходная эвристическая схема была скорректирована и усложнена. Было признано, что прямой перенос представлений и методов теории автоматического регулирования из области технических систем в сферу человеко-машинных и социотехнических систем неправомерен. Чтобы отличить последние от чисто технических систем, их стали называть не автоматическими,

а автоматизированными системами управления (не регулирования). Это было сделано для того, чтобы подчеркнуть, во-первых, участие в них людей и невозможность (и ненужность) полной автоматизации, т. е. замены людей машинными блоками, и, во-вторых, тот факт, что речь идет об автоматизации человеческой (а именно — управленческой) деятельности, административного управления, а не о регулировании технических процессов<sup>107</sup>.

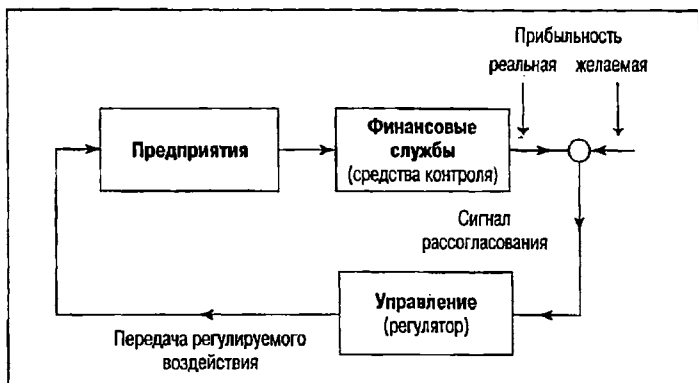


Рис. 85. Система управления с обратной связью<sup>108</sup>

Следует, однако, подчеркнуть, что такого рода аналогия имела и положительное значение, если не понималась буквально, и породила целое новое направление научно-инженерной деятельности, ставшее одним из основных направлений системотехники. Происходил процесс постепенного переосмысления и обобщения этого основного кибернетического понятия, вычленения его системного содержания. Понятие «управление» в кибернетике в его первоначальном смысле характеризовалось следующими тремя основными признаками: (1) автоматические действия системы; (2) действия системы в соответствии с определенной целью; (3) наличие обратной связи.

В данном случае использовалось «машинное» представление управления как регулирования<sup>109</sup>, т. е. как автоматического действия без участия сознания. Поэтому цель понималась не как идеальный образ сознания, а как некоторое конечное состояние. Цель находится как бы вне системы. Например, для системы противозвушной обороны

<sup>107</sup> Понятие «управление» рассматривается в русском языке в двух основных смыслах: как аналог автоматического регулирования (регулирование технических систем) и как административное руководство (управление людьми). В английском языке им соответствуют понятия *control* и *management*, которые часто переводятся на русский язык одним и тем же словом.

<sup>108</sup> Jenkins G.M., Youle P.V. Systems Engineering. A Unifying Approach in Industry and Society. L.: Watts, 1971, p. 152.

<sup>109</sup> Эшби У.Р. Введение в кибернетику. М.: Издательство иностранной литературы, 1959; Винер Н. Кибернетика. М.: Сов. Радио, 1968.

такими целями являются самолеты и ракеты противника. В то же время цель находится внутри системы, если систему трактовать более широко, включая в нее и системное окружение, и то конечное состояние, которого система достигнет, выполнив ряд автоматических действий. Программа таких действий включает в себя и сам результат (цель), и алгоритм поведения системы, т. е. средства достижения этого результата. Наконец, большое значение для характеристики управления имеет понятие обратной связи, в которое первоначально в кибернетике вкладывалось следующее содержание. Сигнал на выходе некоторого устройства, являющегося объектом управления, постоянно сравнивается со специфическим эталоном (целью), который запрограммирован в управляющем органе (регуляторе). Информация (особый сигнал) о рассогласовании выходного сигнала с целью поступает на вход объекта управления и используется для ограничения выходов, которые в противном случае «были бы дальше цели»<sup>110</sup>.

Кибернетическое представление управления подверглось, однако, следующему эволюционному процессу.

Во-первых, само управление рассматривается уже не просто как автоматическое действие, а как управленческая деятельность, которая лишь частично может быть автоматизирована. Управление нельзя сводить только к информационным процессам, в конечном счете предполагающим его автоматизацию. Реорганизация управленческой деятельности должна предшествовать ее автоматизации. В противном случае оснащение управленческой деятельности вычислительной техникой только закрепляет существующие рутинные процедуры. Сложную проблему автоматизации необходимо рассматривать не изолированно, как узкую специальную задачу, а наряду с другими задачами, например совершенствование организационной структуры, реорганизация управления, оптимизация деятельности объекта управления. Необходимо различать искусственное преобразование объекта управления в результате управленческой деятельности и естественное преобразование объекта, независимое от этой деятельности, т. е., с одной стороны, объект управления развивается по естественным законам, а с другой — испытывает воздействие управленческой деятельности. Поэтому необходимо сначала рассмотреть объект управления как естественную систему и определить прогноз ее развития, а затем рассмотреть его как искусственную систему и построить его проект (модель). Объект управления должен быть описан и с точки зрения проекта, и с точки зрения возможностей отклонения от естественной линии развития. Далее выбирается наиболее оптимальная траектория достижения цели, заданной в проекте. Наконец, планируется система управляющих воздействий для получения нужной траектории, т. е. для реализации проекта.

Во-вторых, управленческая деятельность понимается теперь как осознанная, а ее цель — не конечное состояние данного преобразования,

---

<sup>110</sup> Винер Н. Кибернетика. М.: Сов. Радио, 1968. Мы определили только отрицательную обратную связь, так как именно она направляет действия для достижения цели, т. е. раскрывает механизм управления. Сигнал же положительной обратной связи «прибавляется» (часть выходного сигнала, поступающего на вход, имеет тот же знак, что и выходной сигнал) к входным сигналам, но не корректирует их.



а его представление, образ, который формируется до реализации цели. Управление представляет собой целенаправленный процесс, результатом которого является переход объекта из одного состояния в другое. Однако цель — это не просто конечное состояние, на достижение которого направлено действие объекта, а идеальный образ этого конечного состояния, представление о результате деятельности еще до получения результата<sup>111</sup>. Ситуация управления имеет одну важную особенность: управление — это воздействие одной деятельности на другую, т. е. объектом управленческой деятельности является другая деятельность, подлежащая управлению (например, производственная, хозяйственная, конструкторская, научная и др.). Управление — это корректировка деятельности, подлежащей управлению, в соответствии с целью и осознанием (руководителем) всей деятельности и образа действия управляемого индивида. Большое значение приобретает не только осознание, но и корректировка собственных действий управляющим индивидом (или соответствующим социальным институтом).

В-третьих, понятие обратной связи, возникшее в контексте представления как автоматического регулирования, в системотехнике и в самой кибернетике в настоящее время формулируется более широко — как механизм учета разницы между целью действия и ее результатом. Обратная связь — это не просто обратное физическое воздействие, рассогласование выходного сигнала с эталоном, которое регулирует входы. Сущность ее заключается в том, что от объекта управления к управляющим органам по особым каналам связи передается информация о фактическом положении дел, прежде всего об отклонениях от намеченных планов, которая используется управляющими органами для выработки управляющих воздействий. Иначе говоря, деятельность данной системы регулируется результатами деятельности этой же системы. Результат деятельности не может полностью совпасть с поставленной заранее идеальной целью. Несовпадение цели и результата деятельности и является основой регуляционного механизма обратной связи<sup>55</sup>.

Для обеспечения эффективного функционирования рассматриваемой технической теории — теории автоматического регулирования —

---

<sup>111</sup> Имеется в виду конкретная цель деятельности, а не цель-идеал. «Цель-идеал» является выражением мыслимого блага, к которому можно стремиться, которого можно желать, но не реализовать путем непосредственной деятельности. Конкретная же цель деятельности предполагает и конкретную деятельность, процесс реализации. Такая цель имеет вполне определенное реальное объективное содержание. В цели находят отражение результат деятельности, возможность, или средства, реализации и программа реализации. При этом она является целью субъекта, всегда связана с человеческой деятельностью (Трубников Н.И. О категориях «цель», «средство», «результат». М., 1968). В кибернетике же задаются материальные аналоги цели в контексте саморегулирующихся систем.

<sup>112</sup> «Такое «текущее» явное несовпадение желаемого и достигнутого эффекта на отдельных этапах работы управляющей системы ... непрерывно устраняется посредством обратных связей, осуществляющих функцию контроля и регулирования». (Свиницкий В.Н. Понятие управления в кибернетике. В кн.: Симметрия, инвариантность, структура (философские очерки). М., 1967, с. 290).

необходимо было ликвидировать разрыв между таким единым математическим описанием и разнородными поточными и структурными теоретическими схемами, в которых оно применялось. Схемы замещались из соответствующих технических наук без какой-либо коррекции. Это стимулировало развитие особых структурных схем, обобщенных по отношению к частным теоретическим схемам теории механизмов, теоретической радиотехники и электротехники, гидравлики и др. (рис. 86).

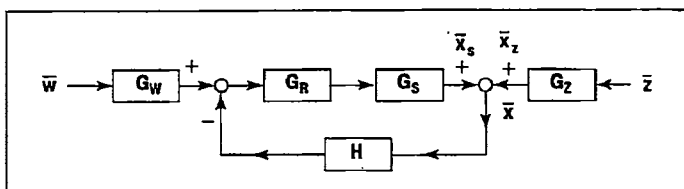


Рис. 86. Обобщенная структурная схема системы автоматического регулирования <sup>113</sup>

$G_W$  — частотная характеристика управляющего блока;  $G_R$  — частотная характеристика регулятора;  $G_S$  — характеристика объекта регулирования;  $G_Z$  — влияние основного возмущающего воздействия;  $H$  — измерительный элемент

Первоначально все однородные звенья просто сводились к эквивалентным электрическим схемам, на которых и производились основные расчеты. В обобщенных структурных схемах теории автоматического регулирования давалось единообразное описание систем автоматического регулирования независимо от конкретного конструктивного воплощения и типа протекающего в них естественного процесса — гидравлического, электрического, механического или пневматического. Такой метод структурных преобразований схем автоматических систем и адекватный им математический аппарат — алгебра структурных преобразований — был разработан академиком Б.Н. Петровым.

В своей работе «О построении и преобразовании структурных схем» он пишет: «При анализе и синтезе различных автоматических систем (регулирования, управления, следящих, телемеханических и т. п.), в особенности когда рассматриваются сложные системы, большое значение имеет ясное представление об их структуре, динамических свойствах отдельных элементов и их взаимодействии ... Однако, насколько нам известно, не существует методики построения достаточно удобных и наглядных структурных схем, которые не только фиксировали бы наличие отдельных элементов в системе и связей между ними, но отображали бы динамические свойства этих элементов и характер воздействия их друг на друга. В настоящей работе делается попытка найти способ построения подобных схем. Структурные схемы способствуют наглядному представлению о характере и структуре системы, облегчают анализ сложных систем и сравнение различных систем и вариантов их между собой, дают возможность произвести

<sup>113</sup> Pestel E., Kolmann E. Grundlagen der Regeltechnik. Braunschweig: Friedr. Vieweg & Sohn, 1968, S. 256–257, 272.

качественную оценку системы — установить наличие жестких и гибких обратных связей и других воздействий в системе, установить астатичность или наличие статизма системы и, кроме того, позволяют провести строгую и обоснованную классификацию автоматических систем»<sup>114</sup>.

Такого рода обобщение в структурных схемах автоматического регулирования обусловило целую серию исследований абстрактного уровня — так называемого структурного анализа с целью исследования общей структуры сложных систем<sup>115</sup>. Это положило начало развитию нового этапа развития теории систем в сфере технической науки и техники — системотехники.

### *Формирование системотехники как теории сложных систем*

Системотехника является продуктом развития традиционной инженерной деятельности и проектирования, а также качественно новым этапом, связанным с возрастанием сложности проектируемых технических систем, появлением новых прикладных дисциплин, выработкой системных принципов исследования и проектирования таких систем. Особое значение в ней приобретает деятельность, направленная на организацию, научно-техническую координацию и руководство всеми видами системотехнической деятельности (например, с одной стороны, проектирование компонентов, конструирование, отладка, разработка технологии, а с другой — радиоэлектроника, химическая технология, инженерная экономика, разработка средств общения человека и машины и т. п.), а также на стыковку и интеграцию частей проектируемой системы в единое целое. Именно эта деятельность является ядром системотехники и определяет ее специфику и системный характер.

Системотехника представляет собой особую деятельность по созданию сложных технических систем и в этом смысле является прежде всего современным видом инженерной, технической деятельности, но в то же время включает в себя и научную деятельность, поскольку является не только сферой приложения научных знаний. В ней происходит также и выработка новых знаний. Таким образом, в системотехнике научное знание проходит полный цикл функционирования от его получения до использования в инженерной практике.

Например, в одной из первых фундаментальных обобщающих работ по системотехнике, книге Г.Х. Гуд и Р.Э. Макола «Системотехника. Введение в проектирование больших систем»<sup>116</sup> подробно описаны научные дисциплины, методы и знания, исполь-

<sup>114</sup> Известия АН СССР. ОТН, 1945, с. 1146, 1162.

<sup>115</sup> Для чего стали применяться современные математические средства, прежде всего топологические методы, например теория графов, векторный анализ, а также теория матриц и т. д. (см., например: MacFarlane A.G.J. Engineering Systems Analysis. L.: Harrap Georg G., 1964).

<sup>116</sup> Гуд Г.Х., Макол Р.Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем. М.: Сов. радио, 1962.

зумы в системотехнической деятельности. Каждой из этих дисциплин соответствует определенный этап системотехнической деятельности. Теория моделей является средством построения математических моделей системы, которые составляют первый этап (после формулирования проблемы проектирования). Далее на основе полученных математических моделей планируются эксперименты. Сбор данных осуществляется в процессе измерения, анализа документов, бесед и т. д. Эксперименты анализируются на основе применения математической статистики. В качестве основного средства проектирования внешних связей системы, ее окружения приводится теория вероятностей. Основное же средство «внутреннего» проектирования — теория вычислительных машин, поскольку ЭВМ не только представляют собой один из главных элементов почти любой сложной технической системы, но и являются орудием ее проектирования, например компьютерного моделирования. Системная логика, которая фактически совпадает, по Гуду и Маколу, с теорией алгоритмов, позволяет рассматривать проектируемую систему как «единичную нить», т. е. имеющую один вход и один выход. Проектирование «единичной нити» составляет первый этап «внутреннего» проектирования системы. Следующий этап — проектирование «большой нагрузки», т. е. системы с множеством входов и выходов, на основе теории массового обслуживания. Далее проектируются составительные аспекты системы, т. е. входы и выходы системы рассматриваются как «конфликтующие». Здесь в качестве средства проектирования используется теория игр. Далее Гуд и Макол рассматривают деление системы на части, проектирование которых основывается на какой-либо отдельной теории или дисциплине. Входная и выходная аппаратура проектируется с использованием инженерной психологии. Для создания аппаратуры связи требуются аналитические средства теории информации. Аппаратура логического управления проектируется на базе теории вычислительных машин, а рефлексивного управления — на основе теории автоматического регулирования. Такие научные дисциплины, как линейное программирование, групповая динамика (направление социологии, изучающее поведение индивидов в группах и их взаимоотношения) и кибернетика, дают общие положения, принципы и руководящие идеи для решения системотехнических задач. Исследование операций также часто используется в системотехнике, особенно при проектировании внешних связей системы. Эта дисциплина не участвует в разработке аппаратуры, а подключается для оценки ее работы и определения оптимальных методов ее использования и, кроме того, для организации самого процесса проектирования. Экономика используется в основном для оценки стоимости самой проектируемой системы и ее разработки.

Главное для инженера-системотехника — научиться применять все полученные знания для решения двух основных системотехнических задач: интеграции частей сложной системы в единое целое и управления процессом создания системы. Поэтому в списке требуемых ему знаний значительное место уделяется системным и кибернетическим дисциплинам, позволяющим ему овладеть общими методами исследования и проектирования сложных технических систем независимо от их конкретной реализации и материальной формы. Именно в этой области он должен быть специалистом. Первые основополагающие работы по системотехнике представляли собой описание всевозможных знаний и методов, используемых при проектировании сложных технических систем, но ее специфику как комплексной научно-технической дисциплины нового типа определяют использование и развитие системного подхода.

Чтобы лучше понять значение системотехники и ее отличие от традиционного научно-технического знания, необходимо перечислить задачи, которые в ней решаются:

- подготовка информации для принятия руководством научно-обоснованных решений по управлению процессом создания сложной системы;  
формулировка общей программы разработок как основы для взаимной увязки проектов отдельных подсистем;  
стыковка проектных задач и координация специалистов, решающих эти задачи;  
обеспечение интеграции системы в единое целое;  
обеспечение в процессе разработки сложной системы наилучшего использования ресурсов при одновременном достижении проектных целей возможно более эффективным способом;  
согласование планов частных проектов с общим направлением работы, выявление существующих и прогнозирование будущих потребностей;  
внедрение в практику проектирования последних научных и инженерных достижений.

Системотехника может быть рассмотрена и как техническая наука, и как отрасль техники, и как сфера инженерной деятельности. Этим и обуславливается многообразие ее определений: одни рассматривают ее как отрасль техники, подчеркивая ее направленность на систему в целом, а не на отдельные входящие в нее устройства; другие считают ее одним из видов инженерной деятельности по планированию, проектированию, конструированию и эксплуатации сложных технических систем; третьи определяют системотехнику как техническую науку об общих закономерностях создания, совершенствования и использования технических систем, требующих системного подхода к задачам их анализа и синтеза. По общему же мнению, проблемы системотехники являются комплексными и находятся на стыке ряда научных и технических дисциплин; системотехника позволяет устранить разрыв между исследованием и проектированием, который существует при традиционных методах работы, и является широкой сферой, игнорирующей границы, которые разделяют академические дисциплины и отделяют исследование от инженерной деятельности и разработок.

Таким образом, системотехника — это:

- сфера деятельности, выделившаяся из традиционной инженерной деятельности и направленная на:
  - организацию процесса создания, использования и развития сложных технических систем, т. е. стыковку проектных задач и кооперацию специалистов различных профилей, решающих эти задачи;  
обеспечение интеграции частей системы в единое целое;
- область знания, комплексная научно-техническая дисциплина, объединяющая:
  - методы и принципы анализа и организации инженерной деятельности;  
средства, методы, приемы и процедуры проектирования и исследования сложных технических систем;

знания и методы современных математических, технических, естественнонаучных и общественных дисциплин, используемых для исследования и проектирования сложных систем и организации инженерной деятельности;

♦ конкретно-методологическая позиция, связанная с целостным рассмотрением технической системы, процесса ее исследования, создания и развития, а также с использованием идей кибернетики и системного подхода.

Можно указать, по крайней мере, три взаимосвязанные причины появления и развития системотехники: изменение структуры инженерной деятельности; формирование нового типа технических систем; расширение объема знаний, используемых инженером. Рассмотрим эти причины более подробно.

Появление системотехники связано прежде всего с *необходимостью управления и организации инженерной деятельности*.

В середине XX в. возникает тесная связь между различными видами инженерной и научной деятельности при решении сложных научно-технических задач. Поэтому необходимы кооперация различных специалистов, объединение их в единый коллектив, решающий определенную задачу. Одной из первых областей, в которой проявились эти процессы, была радиоэлектроника. В период после второй мировой войны инженерная деятельность в этой области существенно усложнилась, возросла ее связь с различными смежными отраслями техники. В создании радиоаппаратуры стали участвовать коллективы, объединяющие помимо специалистов по радиоэлектронике, металлургов, химиков, математиков, физиков. В то же время происходило дальнейшее отделение инженерных работ от вспомогательных, проектировщиков – от конструкторов и специалистов по технологии и производству аппаратуры, а также развитие инженерных исследований в более тесной кооперации с учеными различных специальностей, занимающимися фундаментальными исследованиями. Для управления такими коллективами требовались новые методы инженерного руководства и специалисты, осуществляющие это руководство.

После второй мировой войны над созданием проектов (независимо от их практической реализации) противовоздушной обороны, коммуникационных, энергетических, ирригационных систем, градостроительных и производственных комплексов, автоматизированных систем управления трудится целая сеть институтов, насчитывающих сотни высококвалифицированных специалистов. Основное значение системотехники – повышение эффективности инженерного труда, который реализуется большими коллективами специалистов различного профиля.

Системотехника возникла и развивалась в двух совершенно различных сферах – в системах военной и космической техники во время второй мировой войны, а также в связи с проектированием предприятий и обширными проблемами планирования в промышленности, в особенности нефтяной, химической и энергетической промышленности.

Понятия «системная наука» и «системный анализ» тоже использовались для обозначения этой деятельности – в особенности слово «системный анализ» применялось в *RAND Corporation* в США для описания широкого спектра систем военного, космического и промышленного применения при проектировании портов, школ, госпиталей, транспортных систем и решения проблем местной и региональной администрации.

Термин «системотехника» используется главным образом для обозначения науки проектирования или науки о связывании вместе отдельных систем таким образом, чтобы они хорошо совместно работали для достижения общей цели»<sup>117</sup>.

Системотехника — не простая модификация традиционной инженерной деятельности, а качественно новый вид деятельности, предусматривающий проектирование сложных технических систем как целостных образований, для которых нет образцов в существующей инженерной практике, с использованием для их создания множества разнородных дисциплин.

Вторая причина возникновения системотехники — *формирование нового типа технических систем*. В такого типа системах не только увеличилось количество компонентов и связей, но и сами эти системы стали рассматриваться как *целостные*, хотя и состоящие из разнородных элементов, процессов, связей и отношений. Сложность технической системы обусловлена переходом от простой системы к составной и от акцента на анализе ее частей к рассмотрению целого. Такой переход вызван в значительной степени возрастающей специализацией инженеров и необходимостью координации разных видов инженерной деятельности, участвующих в разработке системы и направленных на создание единого проекта.

Например, даже «отдельная ракета состоит из миллионов электронных компонентов, тысяч людей, объединенных в технические и управленческие рабочие группы, и миллионов долларов, составляющих бюджет такого проекта. Все эти компоненты могут быть объединены для эффективного выполнения работ только, если их усилия скоординированы»<sup>118</sup>. Ярким примером такого рода координационно-организационной работы была деятельность С.П. Королева, крупнейшего конструктора и ученого, основоположника и руководителя практической космонавтики, как новой комплексной области научно-инженерной деятельности. «В развитии советской космонавтики непосредственно участвовали сотни тысяч людей, и среди них многие глубокие мыслители и проницательные теоретики, блестящие конструкторы и смелые экспериментаторы, волевые организаторы и трудолюбивые исполнители. Все они внесли в нее свой большой и малый вклад. А объединял все эти усилия, направлял их к достижению единой цели Главный конструктор ракетно-космических систем С.П. Королев, работавший в тесном сотрудничестве с учеными... руководителями разработки систем ракетно-космических комплексов, а также с крупнейшими организаторами промышленности... Его организаторский талант позволил сплотить и направить в нужное русло работу многих научно-исследовательских и проектно-конструкторских организаций независимо от их ведомственной принадлежности. Благодаря своей целеустремленности он умел всех убедить, воодушевить своими идеями. Он лично добивался скорейшего принятия решений и постановлений по новым разработкам на всех уровнях, сам убеждал смежников и находил вместе с ними приемлемые пути реализации новых замыслов ...»<sup>119</sup>. В этой характеристике инженера-

---

<sup>117</sup> *Jankins G.M., Youle P.V. Systems Engineering. A Unifying Approach in Industry and Society. L.: C.A. Watts & Co. Ltd., 1971, 1964, p. 10.*

<sup>118</sup> Там же, р. 4.

<sup>119</sup> *Белоцерковский О.М. О научном творчестве С.П. Королева: К 75-летию со дня рождения // Вопросы истории естествознания и техники, 1982, № 4, с. 55–56, 62.*

организатора нового типа, а по сути дела инженера-системотехника, очень точно подмечен процесс интеграции современной дифференцированной инженерной деятельности.

Сложность современных технических систем обусловлена разнообразием и неоднородностью их компонентов, связей между ними, их свойств. Совместное использование в технической системе даже только электрических и механических компонентов резко усложняет связи между ними и вызывает нелегкие проблемы синтеза знаний в процессе моделирования и теоретического объяснения функционирования этих компонентов в системе. Объектом же современной инженерной деятельности становятся связи между человеком и машиной, экономические и в определенной степени социальные связи. Показателем сложности современных технических систем является также и то обстоятельство, что при их проектировании необходимо учитывать окружающую среду системы, рассматриваемую как внешний элемент.

Третья причина возникновения системотехники — *значительное увеличение объема знаний, используемых инженером, во второй половине XX в.*

Об этом свидетельствует перечень дисциплин, изучаемых будущими системотехниками в вузах США: общая теория систем, линейная алгебра и матрицы, топология, теория комплексного переменного, интегральные преобразования, векторное исчисление, дифференциальные уравнения, математическая логика, теория графов, теория цепей, теория надежности, математическая статистика, теория вероятностей, линейное, нелинейное и динамическое программирование, теория регулирования, теория информации, кибернетика, методы моделирования и оптимизации, методология проектирования систем, применение инженерных моделей, проектирование, анализ и синтез цепей, вычислительная техника, биологические и социально-экономические, экологические и информационно-вычислительные системы, прогнозирование, исследование операций и т. д.<sup>120</sup>

Этот перечень свидетельствует, насколько широкой должна быть подготовка инженеров-системотехников и какие трудности возникают при создании обобщающих пособий по их обучению. Первой попыткой такого рода обобщения технических знаний и существовавших приемов технической деятельности различного рода является «Общая технология» Иоганна Бекманна (1739–1811) и его школы, которая была попыткой обобщения. В 1777 г. Иоганн Бекманн выпускает «Введение в технологию, или О знании цехов, фабрик и мануфактур...», в которой пытается дать обобщенное описание не столько самих машин и орудий как продуктов технической деятельности, сколько самой этой деятельности, т. е. обобщение всех имевшихся знаний о развитии технологий (ремесел, производств, устройство заводов, а также употребляемых в них машин, орудий, материалов и т. д.)<sup>121</sup>. Если частная технология рассматривает каждое техническое ремесло отдельно, то *общая технология* Бекманна пытается систематизировать различные производства в технических ремеслах, чтобы облегчить их изучение. Уже тогда эта задача казалась трудно разрешимой, хотя речь еще не шла о включении

<sup>120</sup> См.: *Vidale R.F.* University Programms in Systems Engineering. In: IEEE Trans. Syst. Sci. and Cybern., 1970, vol. SSC-6, № 3.

<sup>121</sup> *Beckmann J.* Entwurf der allgemeinen Technologie. Güttingen; *Beckmann J.* Anleitung zur Technologie oder zur Kenntniss der Handwerke, Fabriken und Manufakturen ... Güttingen, 1777.



в состав этих знаний появившихся значительно позже многочисленных естественно-научных, технических и социально-гуманитарных теорий, используемых сегодня в инженерной практике. Позднее такого рода обобщающие описания возникали только в рамках достаточно специальных областей техники и технологии, и только с развитием системотехники эта проблема возникла вновь уже как научно-методологическая задача.

Сфера действия инженерной деятельности все более расширяется, в результате чего используется большая группа разнородных знаний, методик, предписаний. Увеличение разнородности компонентов и связей технической системы стимулирует проведение и применение результатов исследований, не включавшихся ранее в сферу инженерной деятельности. Сегодня в инженерной деятельности используется самый широкий спектр научных и технических знаний: от прикладных специализированных дисциплин до социальных наук. Существующие средства теоретического описания целостности оказываются неэффективными, и возникает стимул для поиска новых средств. Разрабатывается новое знание, специально предназначенное для обслуживания системотехнической деятельности и описания технической системы в целом. Появление системотехники в значительной степени обусловлено развитием кибернетики и общей теории систем, главных поставщиков таких новых методов и средств. Чем же может помочь системный подход инженеру-системотехнику? Системный подход помогает определить цели, а также общий курс системотехнической деятельности, получить лучшую систему в процессе проектирования, улучшить связи между системами и подсистемами, более эффективно использовать услуги исследователей и проектировщиков и, наконец, добиться оптимального достижения общих целей<sup>122</sup>.

Возрастание специализации различных видов инженерной деятельности привело в последнее время к необходимости ее теоретического описания: во-первых, в целях обучения и передачи опыта и, во-вторых, для осуществления автоматизации самого процесса проектирования и конструирования технических систем. Выделение же проектирования в сфере инженерной деятельности и его обособление в самостоятельную область деятельности во второй половине XX в. привело к кризису традиционного инженерного мышления, ориентированного на приложение знаний лишь естественных и технических наук к созданию относительно простых технических систем, появлению системотехнической деятельности, направленной на создание сложных технических систем.

### *1) Проблема системного представления исследовательской и проектной деятельности*

Во второй половине XX в. изменяется не только объект инженерной деятельности (вместо отдельного технического устройства, механизма, машины и т. д. объектом исследования и проектирования

---

<sup>122</sup> *Jankins G.M., Youle P.V. Systems Engineering. A Unifying Approach in Industry and Society. L.: C.A. Watts & Co. Ltd., 1971, p. 56.*

становится сложная человеко-машинная система), но и сама инженерная деятельность, которая весьма усложняется и требует организации и управления. Другими словами, наряду с прогрессирующей дифференциацией инженерной деятельности по различным ее отраслям и видам нарастает процесс ее интеграции, для осуществления которой требуются особые специалисты — инженеры-системотехники.

Системотехническую деятельность осуществляют различные группы специалистов, занимающиеся разработкой отдельных подсистем. Сложная техническая система разделяется на подсистемы в соответствии со специализацией, существующей в технических науках; области изготовления; сложившимися организационными подразделениями. Каждой подсистемой занимается определенный специалист (индивид, группа индивидов или даже целый институт). Эти специалисты связаны между собой, занимаясь отдельными видами труда, соблюдая последовательность этапов работы, имея общие цели и т. д. Кроме того, для реализации системотехнической деятельности требуется группа особых специалистов (скорее их следует назвать универсалистами) — координаторов (главный конструктор, руководитель темы, главный специалист проекта, специалисты службы научной координации, научно-тематических отделов). Они осуществляют координацию, научно-тематическое руководство в плане как объединения различных подсистем, так и объединения отдельных операций системотехнической деятельности в единое целое. Универсалисты должны иметь не только знания, которыми обладают координируемые ими специалисты, но и развернутое представление о методах системного описания самой системотехнической деятельности.

Как уже говорилось, впервые дать обобщенное описание технической деятельности попытался Иоганн Бекманн, основоположник новой технологической науки и общей технологии. Он рассматривал технологию прежде всего как самостоятельную науку, область исследования которой — материально-техническая сторона процесса производства, и отделял технологию от камералистики (науки об управлении государственными доходами) и науки о хозяйстве. С развитием промышленности возникает множество цехов, фабрик и мануфактур и еще большее число их работ, инструментов, материалов и товаров. Чтобы их понять, нужны вспомогательные науки, количество которых постоянно возрастает. Изучить это многообразие помогут действия ремесленника и книги, в которых эти искусства уже описаны. Бекманн пытается систематизировать работу различных цехов и фабрик на научной основе, чтобы облегчить их изучение. В 1777 г. он выпускает книгу «Введение в технологию, или О знании цехов, фабрик и мануфактур...»<sup>123</sup>. «Бекманн видел в технологии «науку, которая учит переработке природного или знанию ремесел которая полностью, упорядоченно и ясно объясняет

---

<sup>123</sup> *Beckmann J. Anleitung zur Technologie oder zur Kenntniss der Handwerke, Fabriken und Manufakturen* Güttingen, 1777. В этой книге он дает определение технологии как науки, которая учит перерабатывать естественные предметы или знания ремесла. Технология, по Бекманну, дает систематическое упорядочение и фундаментальное введение, а также научное основание этим действиям и знаниям, необходимым для дальнейшего развития производства. Бекманн, наконец, ставит проблему «переработать технологическую терминологию философски или систематически» (Banse G., Wollgast S. *Biographien bedeutender Techniker*. Berlin, 1987, S. 97).

все работы, их последствия и основания»<sup>124</sup>. В другой своей книге «Набросок общей технологии» он сравнивает различные виды работ с помощью отношения «цель–средство», для чего необходимо составить список намерений, которые преследуют ремесленники при осуществлении различных работ, и одновременно список средств, с помощью которых они выполняют каждую из работ<sup>125</sup>. «В то время как «особая часть» технологии содержит «описание отдельных ремесел», общая технология имеет целью «познание каталога всех различных намерений, которые имеют ремесленники и художники, выполняющая различные работы, и, кроме того, каталога всех средств, с помощью которого каждый из них достигает того самого». Общая технология «должна показать общие и особенные намерения ... работ и средств, объяснить основания, на которых они покоятся, и еще к тому же кратко обучить тем из них, которые могут послужить пониманию и оценке отдельных средств и их выбору для перенесения на другие предметы, чем те, для которых они до сих пор применялись»<sup>126</sup>.

Эта программа построения «общей технологии» явилась исходным пунктом для развития системной теории техники германским ученым Г. Рополем. Собственная программа рассматривается им как «ренессанс общей технологии», а сама общая технология — «как универсалистское исследование техники и техническое учение, как наука об общих функциональных и структурных принципах предметных технических систем в их социокультурных связях». Новая (системо)техническая парадигма, по мнению Рополя, в некоторых своих пунктах прямо восходит к идеям Бекманна:

во-первых, достижения концептуального единства технологии (общая технология как теоретическое учение о принципах всего технического);

во-вторых, функциональная классификация всех предметно-технических феноменов с помощью немногих общепотребительных категорий и функциональных критериев;

в-третьих, организация всеобщего технологического образования, которое необходимо и экспертам из различных технических наук, и политикам, и экономистам, и потребителям всевозможной техники, т. е. всем образованным гражданам;

в-четвертых, развитие историко-технического сознания и осознание множества вариантов научно-технического развития в зависимости от экономических, общественных и политических факторов, а также соответствующих условий и последствий этого развития;

---

<sup>124</sup> *Ropohl G. Prolegomena zu einem neuen Entwurf der allgemeinen Technologie. In: Techne, Technik, Technologie. Pullach bei München: Verlag Dokumentation, 1973, S. 152.*

<sup>125</sup> *Beckmann J. Entwurf der allgemeinen Technologie. Güttingen, 1806.* Учеником Бекманна, развивавшим его идеи и учение, был Иоганн Генрих Мориц Поппе (1776–1854), который в 1821 г. опубликовал свой главный труд «Руководство к общей технологии» (Поппе И.Г.М. Пространное руководство к общей технологии или познанию всех работ, средств, орудий и машин, употребляемых в разных технических искусствах. М., 1828), где содержится следующее определение технологии: технология, или наука о ремеслах, имеет предметом описание и объяснение производств, инструментов, машин и орудий, употребляемых при обработке грубых материалов в разных ремесленных заведениях, фабриках и заводах. Она указывает устройство всех заводов и машин, объясняет образ действия, исчисляет разные инструменты и их употребление при различных производствах, показывает, из какого материала то или иное изделие приготовлено, и т. д. Частная технология рассматривает каждое техническое ремесло отдельно. Общая же технология рассматривает различные производства в технических ремеслах по их одинаковому назначению.

<sup>126</sup> *Ropohl G. Указ. соч., S. 152.*

в-пятых, осознание общественно-политического характера технологии, которая, в первую очередь, является не прикладным естествознанием, а социальной практикой, и осуществление технической деятельности в экономических условиях для общественных целей с осознанием политической ответственности <sup>127</sup>.

Г. Рополь в своей книге «Системная теория техники. К основанию общей технологии» <sup>128</sup> дает понятие системы деятельности и предметной системы и проводит различие между чисто техническими системами, являющимися предметными, и социотехническими, которые соединяют систему деятельности с предметной системой. Системотехника, по Рополу, в отличие от классической технической науки и традиционной инженерной деятельности направлена на изучение и проектирование социотехнических систем, которые как предмет системотехники распадаются на две части — создаваемую техническую систему и саму инженерную деятельность как объект планирования. Создаваемая в рамках традиционной инженерной деятельности техническая система (хотя и сложная), рассматриваемая с точки зрения кибернетических и системных представлений, в системотехнике включается в систему еще более высокого ранга — социотехническую «систему использования», т. е. систему, в которой предметные технические системы рассматриваются как подсистемы более широкой системы эксплуатационной деятельности, где должны рассматриваться также экологические и социальные перспективы. Кроме того, в системотехнике сама инженерная деятельность становится объектом планирования, организации и проектирования и должна поэтому также рассматриваться как особая система — «планируемая система». Иначе говоря, большие системные проекты требуют организации и управления (проектного менеджмента), а значит, системного представления и описания самой системотехнической деятельности <sup>129</sup>.

Анализ деятельности позволяет выявить типы и реальную связь знаний в системотехнике: типы иерархии, целостность, типы связей и т. д. При этом системный подход может быть использован как средство описания системотехнической деятельности, а анализ этой деятельности позволит уточнить системные представления и понятия и связи между ними применительно к системотехнике. Рассмотрим три основных способа такого описания: (1) разделение системотехнической деятельности с точки зрения объекта деятельности (этапы

---

<sup>127</sup> Ropohl G. Eine Systemtheorie der Technik. Zur Grundlegung der Allgemeinen Technologie. München, Wien: Carl Hanser Verlag, 1979, S. 39–40.

<sup>128</sup> Там же, S. 77–84.

<sup>129</sup> «Системотехника является применением кибернетически-системно-теоретического мышления в технике и технических науках; она объемлет мыслительные модели, рабочие методы и организационные формы планирования, оформления и использования сложных предметных систем в экотехнической и социотехнической связи» (Ropohl G. Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmawechsel in den Technikwissenschaften. Amsterdam: Verlag Fakultas, 1998, S. 85). Он вводит также в дополнение к перечисленным системам самый высокий уровень рассмотрения — целевые системы, имея в виду, что системотехника должна учитывать взаимовлияния постановки целей и планирования их достижения («желания и возможностей»). На этом уровне должны учитываться ценностные аспекты технической деятельности: качество окружающей среды, безопасность и т. д. В то же время, если первые три типа систем представляют конкретные феномены, то целевые системы содержат «более или менее абстрактные представления желаемых явлений» (Ropohl G. Wie die Technik zur Vernunft kommt. Beiträge zum Paradigmawechsel in den Technikwissenschaften. Amsterdam: Verlag Fakultas, 1998, S. 78, 84–85).

разработки системы); (2) ее описание с точки зрения форм организации системотехнической деятельности, т. е. как последовательности ее фаз и операций; (3) анализ системотехнической деятельности с точки зрения кооперации работ и специалистов <sup>129</sup>.

(1) *Этапы разработки системы* определяются в соответствии с разделением системотехнической деятельности по объекту. В ходе проектирования представление о сложной технической системе изменяется, происходит последовательная конкретизация моделей этой системы.

В книге У. Гослинга «Проектирование технических систем» <sup>130</sup> рассматривается такой способ описания системотехнической деятельности, при котором перечисляются общие процедурные правила создания систем на различной материальной основе. Системотехническая деятельность рассматривается как процесс синтеза функциональной модели системы и затем преобразования в структурную модель, или процесс ее реализации. Каждому этапу соответствуют определенные средства символического и графического представления системы. Функциональные модели могут быть получены тремя способами.

В первом и во втором случаях существует прототип системы — блок-схема и последовательность инструкций соответственно. На блок-схеме может быть получена диаграмма протекания субстанции, а из нее функциональная модель. Из последовательности инструкций сначала строятся поточные диаграммы для различных групп инструкций, которые затем собираются в единую функциональную модель.

В третьем случае такой предшествующей системы нет. Функциональная модель может быть получена с помощью аналогий, либо задача сводится к подсистемам, либо она составляется после модификации некоторых элементов доступной системы. Наконец, возможно изменение проблемы, если функциональная модель не может быть получена ни одним из указанных способов.

На этапе реализации функциональная модель представляется в виде поточной диаграммы. Переставляя блоки, заменяя несколько блоков одним, разделяя один блок на несколько блоков, эквивалентных изменению связей между блоками, и т. д., из функциональной модели можно получить множество поточных диаграмм. Чтобы реализовать некоторые поточные диаграммы, проектировщику необходим каталог элементов, из которого он выбирает системные элементы, имеющие свойства, как можно более

---

<sup>129</sup> См., например, книгу «Systems Engineering. Methodik und Praxis» (Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1992), которая целиком посвящена анализу системотехнической деятельности по объекту — структурирование системы («от общего представления к деталям»), по фазам и в плане проектной организации (проектный менеджмент). Структурирование системы предполагает в подтексте постоянное мысленное представление самой проектируемой системы — от определения ее границ до определения окончательного строения, т. е. решения проблемы в собственном смысле слова. Проектный менеджмент заключается в управлении процессом решения проектной проблемы, планирования информационных, материальных, людских, финансовых и других ресурсов. При этом в подтексте находится представление не системы, а мероприятий, позволяющих решить проектную проблему (процессы организации и подготовки мнений, принятия решений и т. д.), необходимых для перестройки или создания системы заново. Представление системотехнической деятельности в виде фаз объединяет эти два первых представления в единую модель системотехнической деятельности.

<sup>130</sup> Gosling W. The Design of Engineering Systems. L.: Heywood and Co. Ltd., 1962.

близкие к свойствам идеализированных элементов поточных диаграмм. В результате получается блок-схема, соответствующая техническим условиям, сформулированным в техническом задании. Важно подчеркнуть, что для создания системы недостаточно какого-либо одного описания, — необходимо сочетание блок-схемы, поточной диаграммы и функциональной модели. В процессе проектирования они постоянно корректируются и подгоняются друг к другу за счет возвращения на предыдущие стадии. В результате получается некоторое целостное описание системы, составляющие которого взаимодополняют друг друга. В качестве функциональных моделей могут быть использованы, например, алгебраические модели. Диаграмма протекания субстанции показывает последовательность операций (более детально, чем в функциональной модели, где строгая последовательность может и не соблюдаться) и дает минимум информации о плане построения системы: идентификацию элементов и схему связей. В блок-схеме дана форма субстанции на входах одного и выходах другого элемента. В современной общей теории проектирования процесс проектирования также часто рассматривается как последовательная смена уточняющих моделей проектируемой системы, начиная со спецификации и кончая выбранным решением <sup>131</sup>.

Основной характеристикой любой деятельности является ее предметность, т. е. материальные условия деятельности. Предметное содержание деятельности рассматривается и как объект деятельности, и как образ, модель этого объекта <sup>132</sup>. Деятельность всегда направлена на определенный объект. Поэтому, с одной стороны, объект отражает строение деятельности, а с другой стороны, сама деятельность вынуждена приспосабливаться к сложившейся организации объекта. В этом смысле строение деятельности отражает структуру объекта, его элементы и связи. Таким образом, можно выделить два способа описания деятельности с точки зрения ее объекта: как последовательной смены представлений (или моделей) объекта в ходе деятельности и в соответствии со структурой этого объекта.

Такого рода описание любой творческой деятельности дает русский философ техники П.К. Энгельмейер в своей трехактной теории творчества <sup>133</sup>. Он начинает с наиболее простого, по его мнению, вида деятельности — проектирования, включающего создание общего плана, принципа машины, затем выработку схемы, ее логического представления и, наконец, детальное выполнение в виде конструкции, представленной в рабочих чертежах машины. Точно такую же структуру имеет и изобретательская деятельность: 1-й акт — создание идеи (акт догадки), 2-й акт — выработка плана, схемы (акт знания) и 3-й акт — выполнение (акт умения). Попытку проецировать это представление на человеческое творчество вообще Энгельмейер предпринимает в своей эврологии, т. е. всеобщей теории творчества <sup>134</sup>. Он различает три вида продуктов деятельности: материальные вещи (предметы), существующие в пространстве, процессы, существующие во времени, и идеи, существующие в сознании. Человеческое творчество

<sup>131</sup> *Tomiyama T.* General Design Theory and its Extension and Applications. In: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop, Karlsruhe, Germany, May 1998. Ed. By Grabowski, S. Ryde, G. Grein. Aachen: Shaker Verlag, 1998, p. 29.

<sup>132</sup> *Леонтьев А.Н.* Деятельность. Сознание. Личность. М.: Политиздат, 1975.

<sup>133</sup> См., например: *Энгельмейер П.К.* Теория творчества. СПб.: Образование, 1910.

<sup>134</sup> См.: *Энгельмейер П.К.* Эврология, или Всеобщая теория творчества // Вопросы теории и психологии творчества. Харьков, 1914, т. 5; 1916, т. 7.

рассматривается им как совокупность трех деятелей: желания (интуиции, намерения), т. е. ясно выраженного предположения о том, как удовлетворять свою потребность; знания фактической области, в пределах которой придется действовать; умения обращаться с вещью в данной области. Они представляют собой три основные функции духа, из которых состоит весь мир человеческих творений и которые отражают три ипостаси человека: инстинктивную (чувство), сознательную (разум) и действенную (воля). Энгельмейер сводит к ним все факты творчества. Именно благодаря этим трем деятелям создается микрокосм, которым окружил себя человек, — вторая (искусственная) природа, — называемый культурой (цивилизацией). Вся деятельность человека представляет собой решение задач, которые формируют его потребности. Человек вступает в борьбу с окружающим и переделывает его в согласии со своим планом. Метод же — это все искусственные мероприятия, действия и способы, предназначенные для достижения определенных целей.

*Первый акт* творчества начинается с интуиции, это психический синтез нового продукта из предшествующего опыта. Здесь метод — интроспекция, а продукт — концепт, имеющий следующие признаки: гипотетический характер, цельность, самородность (происходит из недр души). *Второй акт* — дальнейшая и осознанная переработка концепта для выработки плана, который должен в равной мере использоваться для решения первоначальной задачи и быть выполнимым на деле. В результате получается: в техническом творчестве — полный план, схема изобретения, проект, модель, образец; в научном творчестве — доказательная гипотеза, теорема; в искусстве — план, модель, сценарий; в любой деятельности вообще — план поступка, метода, способа. *Третий акт* — это вещественное выполнение произведения.

Разделение системотехнической деятельности по объекту во многом зависит от представления инженером-системотехником сложной технической системы. Такое разделение определяется не только объектными характеристиками, но и возможностями проектирования, изучения, изготовления этой системы. Оно используется для организации функционирования подсистем и объединения их в единую систему. При разделении системотехнической деятельности в соответствии со структурой технической системы обычно выделяются следующие ее этапы: макропроектирование, или внешнее проектирование, микропроектирование, или внутреннее проектирование, а также проектирование окружающей среды, которое связано с формулировкой целей системы; разбивка системы на подсистемы (т. е. разделение и распределение функций); проектирование подсистем; изучение их взаимодействия и интеграция системы.

Для описания этапов системотехнической деятельности, в которых фиксируется порядок разработки блоков системы, могут быть использованы все типы системных представлений, которые последовательно подключаются при переходе от одного этапа к другому: прогнозирование, внешнее и внутреннее структурирование, функциональное и, наконец, морфологическое и технологическое конструирование.

*Процессуальное представление* — это описание функционирования и развития проектируемой технической системы. Этап, связанный с этим представлением, может быть назван *прогнозированием*. Здесь учитывается эволюция системы за период ее существования. Между состояниями должны быть установлены связи перехода, позволяющие рассматривать последовательность состояний как единый процесс развития.

Выделяются инварианты и существенные для данной инженерной задачи внешние цели системы. Они должны учитывать ее будущие состояния в условиях изменяющейся окружающей среды. Одновременно в общих чертах намечаются основные внутренние процессы функционирования системы, которые должны обеспечить выполнение ее внешних целей. На этом этапе исследуются и прогнозируются потребности в создании систем данного типа и именно исходя из них формируются новые требования к системе. При этом необходимо учитывать, что данные требования могут измениться в процессе разработки системы, поэтому научное обоснование данного прогноза должно быть достаточно фундаментальным. Анализ потребностей становится в настоящее время одним из важнейших компонентов инженерной деятельности, поскольку создание ненужных или устаревших систем приводит к нерациональному использованию людских, экономических и материальных ресурсов. В условиях разработки больших системотехнических проектов, требующих огромных финансовых затрат, это может привести к катастрофическим результатам. Однако необходимо не только исследование и прогнозирование, но и проектирование потребностей, зависящих от современных достижений науки и техники, но еще не осознанных обществом как потребности.

Внешние связи системы детально рассматриваются на этапе **внешнего структурирования**, которое осуществляется в рамках макроскопического системного представления. Техническая система описывается как статическая совокупность внешних связей с существующими и проектируемыми объектами системного окружения. Это позволяет зафиксировать требования к системе со стороны ее окружения. Поскольку система должна функционировать в определенной социальной и природной среде, то ее внешние связи в значительной степени определяют и цели ее функционирования. Кроме того, данная система может быть частью более крупной системы, где ее место и связи с другими подсистемами определяют характер выдвигаемых к ней требований. Такое представление используется при организации связи проектировщиков данной системы с разработчиками других смежных систем.

**Внутреннее структурирование** основано на *иерархическом системном представлении*. Выявленные на предыдущем этапе внешние связи позволяют описать систему функционально как единицу самого высокого уровня иерархии. Затем ее представляют как иерархию единиц – ряд блоков, что необходимо при возрастающей сложности инженерных задач: сложная система не может быть спроектирована сразу. Однако на данном этапе прорабатываются только принципы построения системы, что необходимо для осуществления координации разработчиков подсистем. На этом этапе распределяются функции между отдельными разработчиками системы. Специфика отдельных частей сложной человеко-машинной системы такова, что их интеграция оказывается нелегкой научной и инженерной задачей, требующей от инженера-системотехника разносторонних знаний и богатого опыта. Кроме того, интеграция системы в процессе ее создания возможна, если только она достаточно четко разделена на отдельные части.

Единицы могут быть наполнены сразу из каталога стандартных компонентов. В этом случае используются типовые проекты отдельных подсистем, но для них необходимо разрабатывать специальные проекты привязки к конкретным условиям работы данной системы. Однако, как правило, для их наполнения требуется специальная разработка на этапе **функционального конструирования**. Этот этап связан с *функциональным системным представлением*, в соответствии с которым каждая единица представляется как определенная функциональная структура (организация). Система рассматривается в виде совокупности блоков-единиц, имеющих типовую организацию, которая должна быть конкретизирована на следующем этапе. Поскольку функциональная структура является общей для класса аналогичных систем, сама система даже при иной реализации ее единиц остается неизменной. Например, при появлении новых более



экономичных, миниатюрных или удобных конструктивных элементов старые элементы могут быть заменены уже в процессе функционирования системы. Другими словами, система в процессе ее модификации совершенствуется, но остается в принципе той же самой. На данном этапе осуществляется также координация специалистов, разрабатывающих отдельные блоки системы. Инженер-системотехник должен уметь мыслить на языке функций, а не способов, с помощью которых эти функции осуществляются компонентами системы. Это облегчает поиск последующих решений по реализации данных функций.

Функциональные места организации предельных единиц наполняются из каталога стандартных элементов на этапе *морфологического и технологического конструирования*, который основывается на *микроскопическом представлении системы*. Если соответствующих стандартных элементов в каталоге не оказывается, то они специально конструируются для каждой конкретной системы. Осуществляются погружение данной функциональной структуры (организации) в материал, ее реализация. Выбираемые из каталогов компоненты и элементы должны обладать свойствами первого порядка, ради которых они включаются в систему, как можно более близкими к свойствам единиц и функциональных мест, которые они заполняют. Свойства второго порядка, т. е. нежелательные, не должны слишком сильно исказить идеальное функционирование системы. Связи между элементами и компонентами отражают операции изготовления технической системы, поэтому такого рода конструирование и может быть названо технологическим. Данное представление системы необходимо для координации специалистов в ходе ее изготовления и внедрения.

В ходе системотехнической деятельности все компоненты и характеристики сложной системы могут несколько раз изменяться и уточняться.

(2) Второй способ описания системотехнической деятельности — определение *последовательности ее фаз*, а в самих этих фазах — цепи действий, или обобщенных операций. Представление любого вида деятельности как процесса, пожалуй, наиболее распространено. Процесс деятельности разбивается на фазы, на каждой из которых достигаются определенные частные цели и выдается промежуточный продукт. В результате жесткой последовательности таких фаз формируется конечный продукт деятельности, реализуется ее общая цель. «Реализация определенной цели в момент  $t_0$  является необходимым условием начала деятельности, в результате которой должна быть достигнута очередная цель в последующий период  $t_1$  и так далее вплоть до момента  $t_m$ , когда будет реализована цель, которую мы можем рассматривать как цель всей деятельности»<sup>135</sup>. Далее человеческая деятельность часто представляется как последовательность операций, т. е. в этом случае рассматривается своего рода технология деятельности. На каждой фазе решаются определенные задачи, для чего должен быть выполнен ряд операций, преобразующих исходный материал деятельности в ее результат.

Описание системотехнической деятельности как последовательности фаз и операций соответствует ее разбивке с точки зрения временной организации работ, параллельной и последовательной связи между ними, возможности выделения фрагментов деятельности и т. д.

---

<sup>135</sup> Зеленовский Я. Организация трудовых коллективов. Введение в теорию организации управления. М.: Прогресс, 1971.

Это представление системотехнической деятельности используется главным образом для синхронной организации и установления последовательности операций (алгоритма разработки системы). Оно также служит средством решения задачи автоматизации проектирования сложных технических систем.

Обычно системотехническая деятельность разделяется на шесть фаз: подготовка технического задания (аванпроекта), разработка эскизного проекта, изготовление, внедрение, эксплуатация и оценка. Иногда добавляется еще одна фаза — ликвидация, или уничтожение системы, что в современных условиях зачастую является весьма сложной задачей из-за возможных экологических последствий этого процесса. На каждой фазе системотехнической деятельности выполняются обобщенные операции в одной и той же последовательности: анализ проблемной ситуации, синтез решений, оценка и выбор альтернатив, моделирование, корректировка и реализация решения<sup>136</sup>.

Для соотнесения фаз и этапов системотехнической деятельности (рис. 87) могут быть использованы рассмотренные системные представления. На каждом этапе сложная техническая система описывается всей совокупностью системных представлений, однако основным является какое-либо одно из них. Например, на фазе эскизного проекта, во время которой осуществляется внутреннее структурирование, таким представлением является иерархическое. На последующих фазах уточняется первоначальное решение. Этот процесс продолжается вплоть до изготовления системы и передачи ее в эксплуатацию.

Как видно из рис. 87, фаза I связана в основном с процессуальным и микроскопическим представлениями (им соответствуют этапы прогнозирования и внешнего структурирования), фаза II — с иерархическим представлением (с этапом внутреннего структурирования), фаза III — с функциональным представлением (этап функционального конструирования), фаза IV — с микроскопическим представлением (этап морфологического и технологического конструирования). На фазе V инженерный объект описывается с использованием полного набора системных представлений. На фазе VI на основе сопоставления первоначального описания системы в техническом задании с ее реальным функционированием в процессе эксплуатации дается оценка системотехнической деятельности в целом, цикл замыкается и может быть начат снова на другом уровне, что соответствует представлению о так называемом эволюционном проектировании. Кроме того, системотехнический цикл является эволюционным процессом, поэтому возможны многократные возвращения на предыдущие фазы.

---

<sup>136</sup> Системотехническая деятельность как последовательность фаз, шагов и задач наиболее подробно представлена в книге М. Азимова «Введение в проектирование». В ней анализируются три фазы: осуществимость, предварительное проектирование и детальное проектирование (см.: Asimov M. Introduction to Design. Englewood Cliffs, N.J.: Prentice-Hall, 1962). Иногда различают фазы жизненного цикла системы (от ее разработки и реализации до использования и утилизации), который заканчивается либо перестройкой старой системы, либо созданием новой системы, и собственно проектные фазы: выдача заказа и предпроектные исследования, детальное проектирование, создание и внедрение системы, окончание проекта (впрочем, при эволюционном проектировании это означает начало нового проекта) (см.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1992, S. 245).

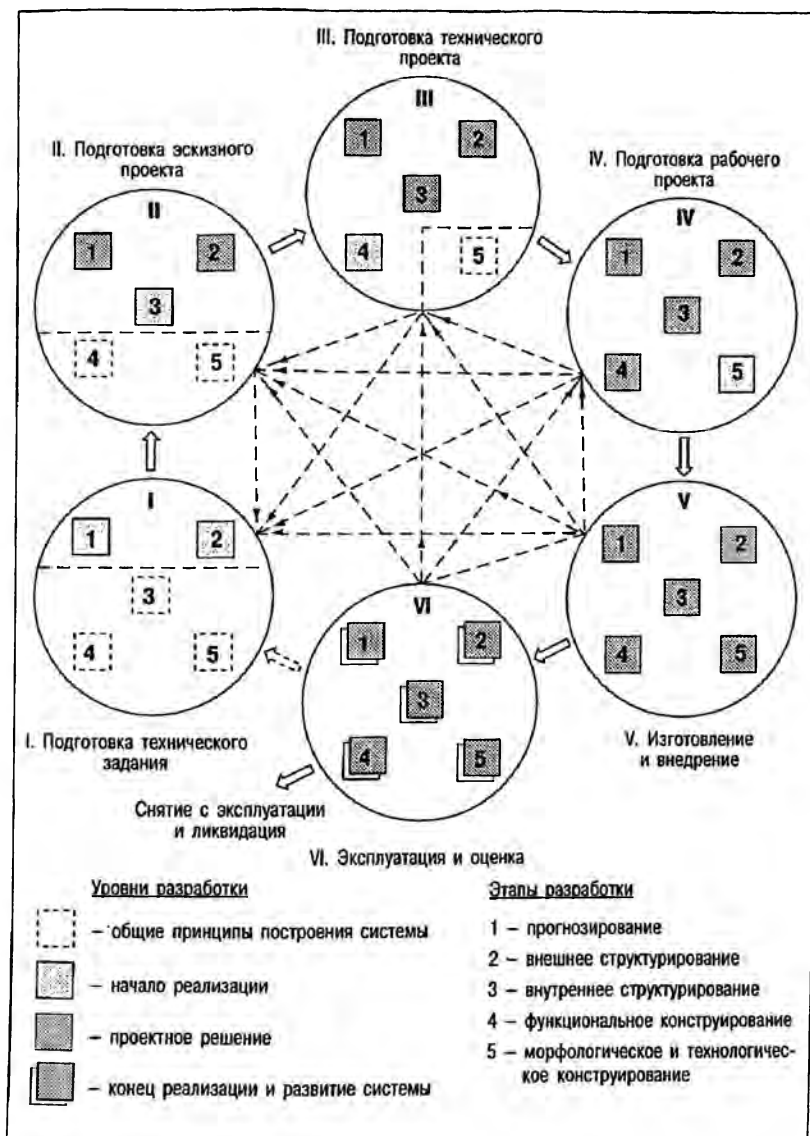


Рис. 87. Этапы и фазы системотехнического цикла

Поскольку подготовке технического задания соответствует главным образом макрокопическое системное представление, подготовке эскизного проекта — иерархическое, подготовке технического проекта — функциональное, между этими фазами существует отношение вложения. Иерархия подсистем на фазе эскизного проекта «вкладывается» в систему, описанную в техническом задании с точки зрения системного окружения. Затем каждая подсистема на фазе технического проекта наполняется определенной функциональной структурой.

Между фазами III, IV и V устанавливается отношение реализации. Функциональная структура реализуется морфологической, а последняя — реальной технической системой.

Наконец, переход от фазы к фазе характеризуется в основном сменой статического представления системы динамическим представлением (с точки зрения функционирования и развития системы). Переход от динамического (процессуального) к статическому (микроскопическому) представлению системы осуществляется на фазе I. Внутреннее время смены фаз системотехнической деятельности может не совпадать с реальным внешним временем: фазы могут перекрывать друг друга. При переходе от одной фазы к другой существенно меняется и характер работы инженера-системотехника. Если на первых двух фазах преобладают задачи разработки основной идеи системы и стратегии ее воплощения, тематического руководства и создания научно-обоснованной программы разработки, то на остальных фазах — практические задачи организации процесса проектирования, координации разработчиков, стыковки блоков системы и авторского надзора за ее изготовлением, внедрением и эксплуатацией. Только на последней фазе при оценке функционирования системы инженер-системотехник снова возвращается к теоретической проблематике. Однако на всех фазах и этапах он в отличие от инженеров-специалистов стремится сохранить целостность проектируемой системы.

(3) Системотехническая деятельность представляет собой *комплексный вид деятельности*, включающий большое число исполнителей и функций. Ее цель — создание больших технических систем и в связи с этим организация всех работ и специалистов, привлеченных к этой разработке. Конкретные виды деятельности осуществляются определенными индивидами. Вне общественных отношений «человеческая деятельность вообще не существует»<sup>137</sup>. Представление деятельности с точки зрения форм организации, кооперации выполняющих ее индивидов получило развитие в праксиологических исследованиях<sup>138</sup>. Организационные меры нужны для преодоления недостатков специализации, сложившейся в различных сферах деятельности. Формы кооперации индивидов могут быть различными: выполнение каждым членом коллектива одной и той же деятельности; разделение деятельности между индивидами, обладающими одинаковой квалификацией (принцип взаимозаменяемости); коллективы с жесткой специализацией, в которых взаимозаменяемость невозможна, и др.<sup>139</sup>. Мы будем рассматривать две основные формы кооперации специалистов: в соответствии со структурой объекта деятельности и в общей последовательности работ в процессе деятельности, которые соответствуют двум первым формам описания деятельности.

<sup>137</sup> Леонтьев А. Н. Деятельность. Сознание. Личность. М.: Политиздат, 1975, с. 82.

<sup>138</sup> Котарбинский Т. Избр. произв. М.: ИЛ, 1963.

<sup>139</sup> Зеленовский Я. Указ. соч.

Анализ системотехнической деятельности показывает, что она неоднородна, включает в себя различные виды инженерных разработок и научных исследований. В системотехническую деятельность оказываются вовлеченными многие академические и отраслевые институты; над одними и теми же проектами трудятся специалисты самых различных областей науки и техники. Поэтому подготовка информации для принятия руководством решений в процессе проектирования сложной системы не является сегодня такой тривиальной задачей, как это может показаться на первый взгляд. Напротив, для ее решения необходимо проводить особые исследования и изыскания, ориентируясь на достаточно широкую предметную область и имея в виду все возможные (настоящие и будущие) проекты данной системы. При этом выбор даже общего направления работ оказывается не столь уж простым. Действительно, в каком направлении вести разработки, какие проектные решения предпочесть в ходе них – решение этих и других подобных задач требует тщательной научной подготовки, поскольку от их решения может зависеть успех всего процесса проектирования. Исправление неправильного решения, принятого на ранних стадиях, требует гораздо больших затрат, чем расходы на содержание специальных системотехнических служб. Этим обусловлена задача формулировки общей программы разработки, опирающейся на прогноз развития системы. Именно для решения этой задачи необходима информация о возможных будущих ситуациях, ресурсах, научно-технических открытиях и изобретениях, которые могут коренным образом преобразовать систему и протекающие в ней процессы, а также о возможных будущих изменениях социальных ценностей, которые могут оказать существенное влияние на систему и трансформацию ее целей. Кроме того, такая общая программа разработки необходима для взаимной увязки проектов отдельных подсистем в процессе создания сложной системы.

Необходимость в системотехнике впервые возникла, когда выяснилось, что отдельные, даже хорошо работающие компоненты не всегда составляют хорошо функционирующую систему. Даже если отдельные компоненты удовлетворяют всем необходимым требованиям, зачастую сложная система как целое не будет функционировать<sup>140</sup>.

На практике, конечно, стыковка отдельных проектных задач и координация специалистов, решающих эти задачи, может быть решена и кустарным способом – волевым решением руководителя проекта. Однако для достаточно сложных систем эти решения должны быть серьезно обоснованы. Дать такое обоснование сам руководитель не может, так как один человек не в состоянии одинаково хорошо разбираться и в вопросах электроники, и в экономических проблемах и т. д. Для управления процессом создания системы необходим ее постоянный диагностический анализ, цель которого – выявление резервов, узких мест и подготовка решений с целью устранения недостатков. Для проведения этого анализа каждый руководитель достаточно крупного проекта вынужден создавать особый научно-координационный центр – бригаду экспертов-системотехников, которая должна помочь руководству достичь согласия по всей программе работ,

---

<sup>140</sup> Иллюстрацией этой ситуации может быть проектирование самолета или ракеты специалистами разного профиля. Если рассматривать данную систему с точки зрения специалиста по двигателям, то, например, для электронного оборудования в ней совсем не останется места; проектировщик фюзеляжа будет заботиться только об оптимальной конфигурации самолета, пренебрегая, скажем, удобством расположения радиолокационных антенн; специалист по радиоэлектронике напигует самолет всевозможными устройствами, не заботясь о его предельном весе и конфигурации; инженер-психолог потребует массу удобств для летчика, не считаясь со сметой; финансист сведет до минимума затраты, и самолет никогда не поднимется в воздух. Вот как раз для того, чтобы связать различные частные оптимумы, цели и критерии отдельных специалистов, и нужен инженер-системотехник.

включающей разные проекты, периодически оценивая все частные проекты, на какой бы стадии выполнения они ни находились.

Поскольку одной из задач системотехники является координация всех работ — от исследования и до эксплуатации системы в целом, — идеальный инженер-системотехник должен сочетать в себе талант ученого с искусством конструктора и деловыми качествами администратора. Он должен уметь объединить специалистов различных профилей для совместной работы. А для этого ему необходимо достаточно глубоко разбираться во многих вопросах. Если имеющихся у него знаний недостаточно, системотехник должен в короткое время изучить предмет и ориентироваться в нем наравне со специалистами. Однако в отличие от «узких» специалистов, занятых деталями, он отвечает за общую постановку проблемы и обобщенную оценку результатов работы и в этом смысле является универсалистом. В то же время он не должен быть дилетантом.

«Таким образом системотехника — это группа деятельностей и соединяет многих специалистов, а также инженеров-системотехников. Инженер-системотехник, без сомнения, должен быть обучен в нескольких специальных областях, но в роли системотехника он действует как универсалист, т. е. человек, приученный мыслить с точки зрения общего подхода к решению проблем. Для достижения этого весьма существенно, чтобы он был хорошим связующим звеном и был способен эффективно воздействовать на различных специалистов, чьи консультации являются существенными, стимулируя их деятельность в рамках этого междисциплинарного подхода. Системная команда должна включать в себя специалистов и системотехников, однако главная работа инженера-системотехника заключается в том, чтобы выбрать то, что необходимо сделать, и определить, почему и как можно это сделать наилучшим образом. Он стимулирует обсуждение целей и настаивает на нем вплоть до того, как будет выработано согласие. Но он не должен остановиться на этом — он настойчиво требует того, чтобы цели были согласованы со всеми, чья работа будет влиять на их достижение таким образом, чтобы значение их участия увеличилось. Наконец, вместе со специалистами он обеспечивает настолько эффективную реализацию согласованных целей, насколько это возможно при минимальных затратах времени и финансовых средств»<sup>141</sup>.

Таким образом, можно выделить горизонтальную и вертикальную структуры системотехнической деятельности, отражающие существующую в системотехнике связь работ и специалистов: первая соответствует типам компонентов и аспектов системы (создание машинных блоков, проектирование плоскости соприкосновения человека и машины, разработка экономических, организационных и социальных аспектов системы и др.), вторая — общей последовательности работ системотехнической деятельности (инженерное исследование, изобретательство, проектирование, конструирование, изготовление, внедрение, эксплуатация). Важнейшими компонентами системотехнической деятельности являются также методическая деятельность и научно-техническая координация.

Каждую научную дисциплину, участвующую в создании сложной технической системы, фактически представляет тот или иной специалист, являющийся членом бригады проектировщиков, что накладывает на него определенные обязательства. Каждой фазе также соответствует определенный состав бригады системотехников. Большинство или все участники такой бригады должны быть универсалистами, и, кроме того, еще и

---

<sup>141</sup> *Jankins G.M., Youle P.V. Systems Engineering. A Unifying Approach in Industry and Society. L.: C.A. Watts & Co. Ltd., 1971, p. 15.*

специалистами в какой-нибудь узкой области. Система не может быть продуктом одних универсалистов, поэтому задача инженера-системотехника – организация различных специалистов при проектировании системы. Гуд и Макол рассматривают соотношение между исследованием и разработкой, возможность и необходимость дублирования работ над проектом, а также способы организации работы по проектированию системы<sup>142</sup>. Фактически в данном случае речь идет об организации проектной деятельности, создании особой системы управления проектом, которая в современных условиях создания так называемых больших проектов может оказаться весьма сложной. В этом, в сущности, и заключается проектный менеджмент – управление, координация и контроль хода (процесса) проектирования (более точно – создания) сложной системы<sup>143</sup>.

Когда инженеры-специалисты заняты исследовательской работой, разработками, проектированием и изготовлением различных технических устройств, приспособлений или сооружений, задача управления не вызывает особых затруднений. Однако если все они заняты разработкой какой-либо одной очень сложной системы, например энергетической, состоящей из разнородных блоков, то организация инженерных работ становится весьма трудной задачей.

В реальной инженерной деятельности проблема соотношения вертикальной и горизонтальной структур системотехнической деятельности решается как задача определения состава и функций системотехнических групп. Можно выделить следующие два основных типа их организации: 1) под руководством универсалиста группируются специалисты, разрабатывающие различные блоки системы, 2) исследователи, изобретатели, проектировщики и др. группируются вокруг системотехника-координатора в процессе создания сложной системы.

Первый тип организации системотехнической деятельности иногда называется «чистой» проектной или параллельно-линейной организацией, поскольку при этом сохраняется традиционная структура предприятия, в которую включается новая организационная единица. Эта единица может и далее оставаться в рамках данного предприятия, и, получив соответствующее задание, заниматься новым проектом. Второй тип организации системотехнической деятельности может быть назван «штабной организацией»: в создании системы участвуют многие предприятия со своей организационной иерархией, и сведением их в единую систему занимается проектный координатор, работающий в непосредственной связи с руководителем проекта. Возможно, что статус руководителя проекта получает сам координатор. При создании международных проектов роль координатора возрастает, поскольку руководителей проекта может быть несколько. Такая структура проектной организации существует обычно до тех пор, пока продолжается проект, однако в случае успешной работы проектной команды структура может быть сохранена для продолжения проектирования другого типа систем. В любом случае это будет уже новая проектная задача, и для ее решения приглашаются новые кооперанты. Преимуществом такой организации системотехнической деятельности являются ее гибкость и отсутствие жесткой зависимости от привычных бюрократических структур.

---

<sup>142</sup> Такое описание системотехнической деятельности с точки зрения связи работ и специалистов дано в книге: Гуд Г.Х. и Макол Р.Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем (М.: Сов. Радио, 1962).

<sup>143</sup> См.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1992, S. 247–254.

Возможна также матричная организация системотехнической деятельности, предполагающая сочетание этих двух организационных структур<sup>144</sup>.

Однако наиболее распространена усеченная кооперация этих типов системотехнической деятельности. При этом состав системотехнической группы зависит от характера и основных продуктов деятельности организаций, в рамках которых они работают. Некоторые системотехнические группы акцентируют внимание на планировании и организации системотехнического цикла, другие считают основной функцией анализ и научное исследование, превращаясь в математические группы, работающие с компьютерами, иногда делается упор на оценке и области функционирования. Во всех случаях системотехнические группы имеют смешанный характер, т.е. объединяют вертикальную и горизонтальную структуру системотехнической деятельности.

Системотехнические группы могут состоять только из одних координаторов и универсалистов, осуществляя как вертикальную, так и горизонтальную стыковку всех остальных специализированных групп. Однако в их функцию входят не только традиционная координация и информационное обеспечение руководства проекта, но и комплексное исследование, методическая деятельность, а также обеспечение внедрения проекта в целом, организация и оценка функционирования созданной сложной системы как целого. Кроме того, они должны предусмотреть снятие в будущем системы с эксплуатации и утилизацию отдельных ее блоков, что предполагает уже на стадии проектирования разработку наиболее экологически, экономически и социально приемлемых способов переработки побочных продуктов ее функционирования и отработавших элементов. Однако основными видами деятельности системотехнических групп остаются комплексное исследование системной модели проектируемой системы и системное проектирование как системотехнической деятельности, так и самой системы (рис. 88).

Комплексная модель сложной системы строится по двум направлениям:

из специальных систем одного уровня вертикальной структуры, т.е. представляет собой только горизонтальный синтез системотехнических знаний в каком-либо одном плане (или исследования, или проектирования, или изготовления и т.д.); далее с точки зрения горизонтального синтеза в соответствии со структурой проектируемой системы в комплексную системную модель включают представления различных специалистов горизонтальной структуры системотехнической деятельности, но по всем уровням ее вертикальной структуры ( $S_1^1 \dots S_1^n; S_2^1 \dots S_2^n; S_m^1 \dots S_m^n, S_m^n = S^{1-n}$ );

на базе вертикального синтеза всех специальных систем, т.е. представлений одной и той же подсистемы исследователем, изобретателем, проектировщиком и др.;

---

<sup>144</sup> В этом случае все кооперанты, участвующие в новом проекте, остаются на своих рабочих местах и в старых административных структурах, но группируются в несколько проектных групп в соответствии с решаемыми задачами или по блокам системы, для каждой из которых назначается менеджер проекта, выполняющий функции координатора в данной группе и подчиняющийся непосредственно руководству предприятия. Таким образом, в данном случае вертикальная и горизонтальная структуры системотехнической деятельности совмещаются в одной матричной организационной структуре (см.: Systems Engineering. Methodik und Praxis. Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1992, S. 256–265).



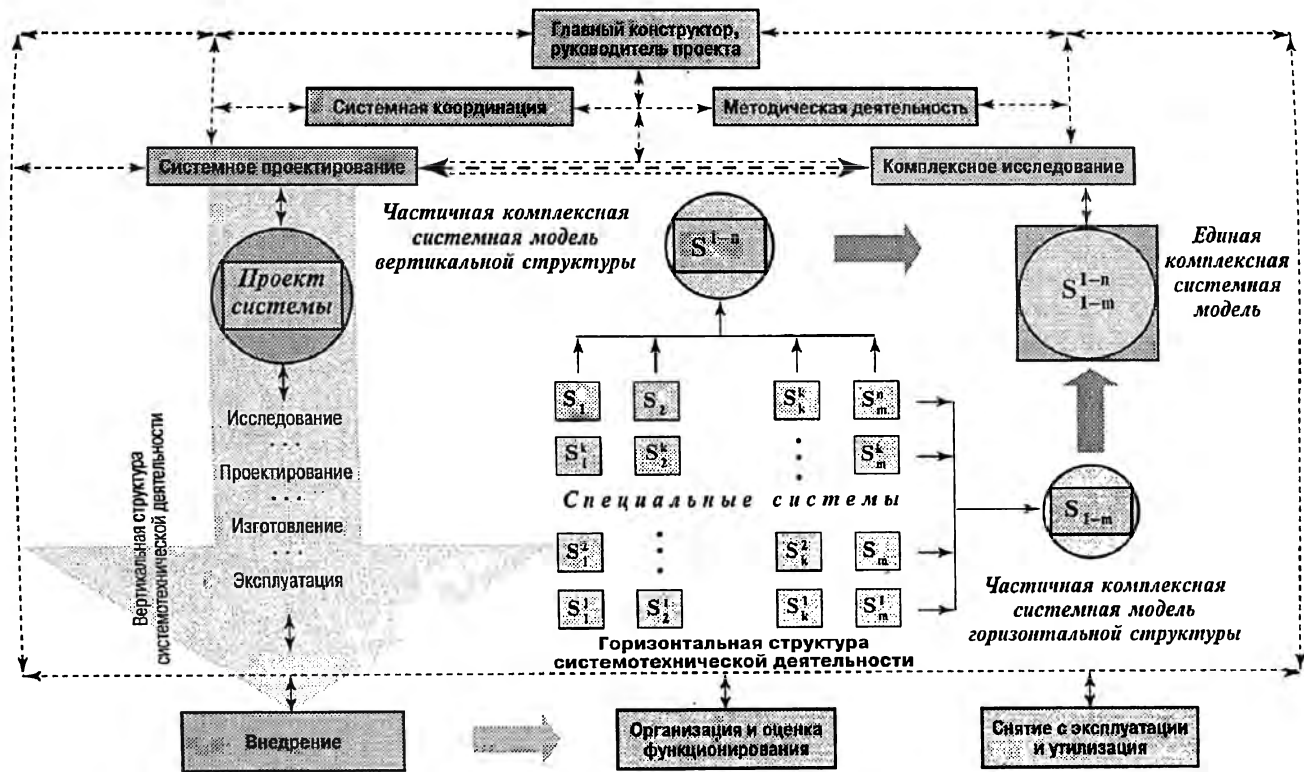


Рис. 88. Комплексная модель сложной системы

полученные таким образом модели вертикальной структуры синтезируются затем в единую системную модель проектируемой системы по всем ее подсистемам, т. е. по всем видам горизонтальной структуры системотехнической деятельности  $(S_1^1 \dots S_m^n; S_1^2 \dots S_m^2; S_1^n \dots S_k^n, S_m^n = S_{1-m})$ .

Таким образом, комплексное исследование в системотехнике состоит из трех этапов: на первом этапе знания различных одноаспектных теоретических исследований и другие частичные представления сложной системы представляются в виде специальных систем; на втором этапе специальные системы синтезируются в комплексные системные модели вертикальной и горизонтальной структур системотехнической деятельности, что составляет первый уровень синтеза; наконец, на третьем этапе комплексные системные модели объединяются в единую модель  $(S_{1-m}^1 \dots S_m^n)$ , что составляет второй уровень синтеза. Только в этом случае синтез системотехнических знаний можно считать полным.

Поскольку каждая часть сложной системы создается определенным специалистом, то и целостность конечного продукта зависит от координации действий этих специалистов, организации единого процесса системотехнической деятельности. Таким образом, целостность технической системы и синтез системотехнических знаний непосредственно зависят от объединения в единое целое самой системотехнической деятельности. Поэтому объектный и деятельностный синтез системотехнических знаний объединяются. Однако в теоретической сфере возникает проблема целостного описания сложных систем. Требование целостности представления сложной системы должно соблюдаться на всех этапах и фазах системотехнической деятельности. Последовательность этапов и фаз создания сложной системы следует понимать как непрерывный процесс интеграции частичных представлений. На каждом этапе или на каждой фазе сложная техническая система описывается как изменяющаяся, включенная в определенную среду и состоящая из иерархических организованных блоков. При этом каждый раз целостность системы задается с разных точек зрения, в зависимости от способов синтеза частичных представлений, включенных в системотехнический цикл.

## *2) Способы целостного описания сложных систем*

Проблема целостного описания системного объекта формулируется в системотехнике как в практическом (упорядочение знаний в процессе исследования, проектирования, изготовления, в целях обучения и т. д.), так и теоретическом плане. Неоднородность системотехнического знания проявляется в том, что для решения системотехнических задач в одних случаях уже имеются теоретические средства, а в других случаях таких средств нет. Что же представляют собой и как осуществляют все эти знания в системотехнике?

Проблема целостного описания функционирования сложной системы решается в системотехнике тремя способами, которые соответствуют трем принципам, на которых основывается синтетический

подход к проблеме целостности (субаддитивности, аддитивности и супераддитивности):

- в сфере исследовательской и инженерной практики (с помощью синкретических схем);  
в виде поточных диаграмм;  
на базе системного подхода.

(1) В сфере научной и технической практики проблема целостного описания сложной системы сводится к сочетанию представлений различных научных дисциплин друг с другом и с инженерными представлениями каждый раз индивидуально при решении конкретной исследовательской или проектной задачи без сведения их к единой теоретической основе. Это позволяет исследователю или разработчику при решении частной системотехнической задачи каждый раз заново строить непохожие друг на друга схемы сложных технических систем. При этом практически невозможно воспроизвести процедуру их построения, поскольку она находится в сфере интуиции проектировщика. Схемы такого рода фактически являются синкретическим соединением объектных представлений различных теорий (элементов электрических и кинематических схем, структурных схем теории автоматического регулирования и других дисциплин) и представлений технической системы в инженерной деятельности: элементов разных схем изготовления, внедрения, функционирования и т. д. Способ их соединения зависит от каждой конкретной задачи. На одной общей структурной теоретической схеме — *синкретической схеме*, — таким образом, присутствуют элементы кинематических, электрических и электронных схем, блок-схем и монтажных схем, на основе которых рассчитываются и собираются механические, электрические и другие блоки. Такого рода схемы часто используются инженерами-системотехниками. Их описание можно найти в любой книге по функционированию или проектированию сложных систем. Решение задач на этих схемах всегда дает частные результаты. Каждая задача решается уникальным путем: нельзя сформулировать типовые способы их решения, которые обеспечили бы перенос результатов на новые случаи.

Первой работой по системотехнике, в которой содержится попытка систематического решения проблемы стыковки схем и представлений сложных систем и типологизации системотехнических задач, является книга Г.Х. Гуда и Р.Э. Макола «Системотехника»<sup>145</sup>. В ней дано обобщенное описание инженерных задач, а также научных орудий, которые используются при их решении. Хотя единого языка для обобщенного описания в данной работе практически не представлено, известное обобщение проведено: выделяются общие характеристики систем (целостность, телеологичность, сложность и др.), дается описание в общем виде последовательности этапов и фаз проектирования с фиксацией за ними определенных инженерных задач и научных средств их решения, отмечается соответствие определенных частей сложных технических систем и различных теоретических дисциплин, которые используются для решения инженерных задач. Однако

---

<sup>145</sup> Гуд Г.Х. и Макол Р.Э. Системотехника. Введение в проектирование больших систем. М.: Сов. Радио, 1962.

в этой книге не разработано теоретического основания для объединения частичных знаний и представлений сложных систем.

Аналогичным образом в более поздней книге «Системотехника. Методика и практика» дается перечень (или, как пишут сами авторы, «энциклопедия») и краткое описание знаний, необходимых для структурирования системы и управления проектированием, без попытки свести все эти методы, формулы и теории к какой-либо общей теоретической или методологической основе. Они перечисляются и описываются в книге в алфавитном порядке. В специальной таблице и в тексте лишь указывается на возможность их использования на определенных этапах и фазах (рабочих областях) системотехнической деятельности в процессе решения различных проектных проблем. Авторы считают, что конкретный выбор нужных средств в каждом отдельном случае как раз и возможен на основе такого энциклопедического описания<sup>146</sup>.

Использование синкретических схем фактически не решает проблему целостности теоретического описания сложной системы. В данном случае полученное практически синкретическое описание и сама сложная система имеют тенденции к распаду на отдельные независимые части. Инженеру-системотехнику с трудом удастся их состыковать, поскольку требования, налагаемые частями на конструкцию системы, являются более сильными, чем требования, предъявляемые целым к частям. В данном случае целостность частей больше целостности системы, а целое меньше суммы частей, что соответствует принципу субаддитивности. В реальной системотехнической деятельности указанные трудности преодолеваются путем многократной итерации от частей к целому и обратно. Сама системотехническая деятельность обеспечивает целостность создаваемой сложной системы и ее представлений.

Существенный недостаток такого способа соединения представлений сложной технической системы в синкретические схемы — качественная неоднородность полученной теоретической схемы, что обуславливает невозможность имитировать на ней функционирование системы в целом, усложняет инженерные расчеты, проектные решения, разработку технологии, отладку и т. д. Чтобы решить проблему целостного описания сложной технической системы в теоретической сфере, необходимо представить данную синкретическую схему в виде системы однородных описаний (для разных режимов функционирования).

(2) Второй способ решения проблемы целостного описания функционирования сложной системы в системотехнике — ее представление в виде особой модели — *поточной диаграммы*, представляющей систему как «черный ящик» с одним входом и одним выходом, через который проходит поток либо вещества, либо энергии, либо информации. Такой способ решения данной проблемы является попыткой выработать «более рациональный подход» к проектированию, чем имеющая место зависимость от метода проб и ошибок, интуиции и так называемого метода справочных руководств. Необходимо создать

---

<sup>146</sup> Systems Engineering. Methodik und Praxis. Zürich: Verlag Industrielle Organisation, 1992, S. 428–429.

научную основу для проектирования, «которая может обеспечить проектировщика прогрессивными научными орудиями и гарантировать ему полный успех»<sup>147</sup>.

Подобная модель воспроизводит протекание в реальной системе субстанции (вещества, энергии или информации), т. е. преобразует входную субстанцию в выходную адекватно функционированию реальной технической системы. У. Гослинг называет такую модель поточной системой, отображаемой на диаграмме протекания субстанции (*flow diagram*). Такая система имеет четко идентифицированные входы и выходы, а ее элементы производят над этим потоком различные операции, например расчленение его на несколько составляющих, соединение нескольких потоков в один, изменение формы потока (например, электрической в механическую). Для этой цели используются особые элементы — трансдьюсеры — преобразователи формы субстанции (рис. 89). В процессе проектирования сложная система представляется в виде такой однородной схемы. У. Гослинг устанавливает правила ее построения. Например, связи, изображающие движение потока между элементами, не должны собираться в одну (это возможно только внутри соответствующих элементов). Собранная по этим правилам схема представляет собой описание преобразований входного потока системы в выходной, где каждое преобразование выполняется определенным элементом. Этим преобразованиям соответствуют математические операции, что позволяет производить необходимые расчеты, причем решение может быть получено посредством цепи преобразований одной структурной схемы в другую — перестановка элементов, замена нескольких блоков одним, разложение одного элемента на несколько и др. Могут вводиться определенные промежуточные преобразования, т. е. операции, которые выполняет каждый элемент

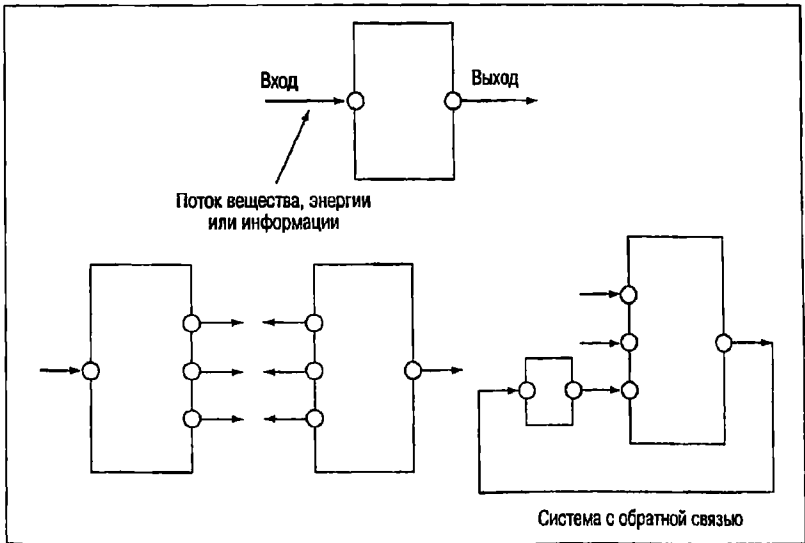


Рис. 89

<sup>147</sup> Suh N.P. The Principles of Design. N.Y.; Oxford: Oxford University Press, 1990, p. 4.

системы по отношению к внутреннему потоку<sup>148</sup>. Аналогичным образом В. Хубка, обобщая опыт проектирования механических систем, строит теорию технических систем как основание научного учения о проектировании на базе абстрактной модели трансформационной системы (технического процесса)<sup>149</sup>.

Этот подход к описанию сложных систем имеет продолжение в сравнительно новой области автоматизации проектирования, предполагающей формализованное описание проектируемой системы и самого процесса (алгоритма) ее проектирования для представления их в компьютерной форме. В принципе такого рода абстрактное представление системы является общим для любых типов систем — от самых простых до сложнейших. Крайним выражением этой тенденции является попытка создания аксиоматического проектирования как основы универсальной теории проектирования чего угодно. Такая теория строится на базе нескольких простых аксиом и включает в себя также функциональные требования, ограничительные условия, проектные параметры и параметры процесса (т. е. характеризующие процесс, который может быть порожден специфическими проектными параметрами). Сформулированные на этой основе уравнения проектирования используются для построения поточных диаграмм, фиксирующих архитектуру проектируемой системы, причем любой системы. «С точки зрения аксиоматического проектирования проектирование систем не отличается фундаментальным образом от проектирования простых механических продуктов и программного обеспечения. Аксиоматическое проектирование применимо ко всем видам проектирования: продуктов, процессов, систем, программного обеспечения, организаций, материалов и бизнес-плана ...» Представления различных систем будут отличаться лишь специфическими базами данных, зависящими от предназначения этих систем. В принципе все эти разнородные системы (машины, аэропланы, системы программного обеспечения или комплекс автомобильных заводов) имеют подсистемы и компоненты и выполняют определенную (более чем одну) функцию. Цель такого рода аксиоматического проектирования — подвести научную базу под эмпирическое проектирование, «усовершенствовать проектную деятельность с помощью теоретического основания, базирующуюся на логических и рациональных мыслительных процессах и орудиях». Это позволит освободить проектировщика для решения более творческих задач, редуцировать процесс случайного поиска проектных решений, т. е. достигаемых методом проб и ошибок, определить лучшие проекты среди предложенных к рассмотрению, «наделить компьютер творческой силой» за счет создания научной базы рационального проектирования. Аксиоматическое проектирование нужно также для облегчения обучению проектированию, введения в проектирование<sup>150</sup>.

Способ построения такого рода однородных поточных схем сложных систем обладает важным достоинством: позволяет разрабатывать единые формальные средства специально для решения типовых системотехнических задач. Однако этот способ имеет и ряд недостатков.

Машинизация представлений сложной системы, которую предполагают такого рода схемы, неадекватна ее строению. Исторически

---

<sup>148</sup> Gosling W. The Design of Engineering Systems. L.: Heywood and Co. Ltd., 1962.

<sup>149</sup> Hubka V. Theorie technischer Systeme: Grundlagen einer wissenschaftlichen Konstruktionslehre. Berlin: Springer-Verlag, 1984.

<sup>150</sup> См.: Suh N.P. Axiomatic Design as a Basis for Universal Design Theory. In: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop, Karlsruhe, Germany, May 1998. Ed. By Grabowski, S. Ryde, G. Grein. Aachen: Shaker Verlag, 1998, p. 3–20. См. также: Suh N.P. The Principles of Design. N.Y.; Oxford: Oxford University Press, 1990.

сложная техническая система рассматривалась по аналогии с машиной. Однако такой способ описания скоро перестал удовлетворять инженеров-системотехников. В последнее время в системотехнике сформировалась иная позиция — рассмотрение сложной технической системы как человеко-машинной системы, причем в качестве прототипа такой системы рассматривается не машина, а человек. Первоначально проектирование человеко-машинной системы рассматривалось лишь в плане распределения функций между человеком и машиной. Затем задача сводилась к традиционному машинному решению. Позже пришло понимание принципиальной целостности человеко-машинной системы, компоненты которой не могут рассматриваться и проектироваться отдельно. «Задача проектирования состоит не в том, чтобы распределить функции между человеком и машиной, а в том, чтобы поручить машине функции человека». Основанием, объединяющим человеческие и машинные компоненты такой сложной системы, становится человеческая деятельность, в которую включены в том числе и машинные компоненты. «Термин «распределение задач между людьми и машинами» становится бессмысленным. Задача состоит из деятельностей, которые должны быть разделены между людьми и машинами»<sup>151</sup>.

Поточные диаграммы имеют еще один существенный недостаток — с их помощью фактически не решается проблема совмещения различных научных и инженерных представлений. Такими схемами нельзя пользоваться для описания сложной системы в целом, поскольку сам способ оперирования с ними однозначен и все сводится к одному узкому операционному представлению.

Операционное представление тесно связано с понятием автоматизации и, следовательно, с машинизированным представлением системы. Под автоматизацией, как правило, понимают замену того или иного аспекта деятельности машинными элементами. Необходимым условием такой замены считается пооперационное и алгоритмическое описание. Предполагается, что любая деятельность может быть разделена на последовательность операций и по крайней мере некоторая ее часть может быть машинизирована. Однако известно, что не все виды деятельности поддаются такому описанию. Поэтому возникает задача типологизации деятельности с точки зрения возможности и эффективности ее операционного и алгоритмического описания, поскольку не все виды деятельности поддаются автоматизации, а для многих из них она неэффективна. Операционное описание предполагает возможность полной автоматизации деятельности. В таком случае операционное описание как бы смыкается с алгоритмическим, выступает как подготовка к автоматизации — предавтоматизация. Однако, если речь идет не о замене человека машиной, а о реорганизации деятельности с включением в нее машинных средств, то можно говорить лишь о частичной автоматизации деятельности (например, о компьютерной подготовке и обработке информации для принятия решений). Под автоматизацией человеко-машинных систем следует понимать не замену отдельных кусков деятельности системы машинными элементами, а ее реорганизацию с оснащением различными машинными средствами. Автоматизация — это не самодовлеющая задача замены человека машиной, а средство рационализации человеческой деятельности.

---

<sup>151</sup> Инженерно-психологическое проектирование. Вып. 1 и 2. М.: МГУ, 1970. Вып. 1, с. 211. Вып. 2, с. 200.

Сложную проблему автоматизации необходимо рассматривать не изолированно, как узкую специальную задачу, а наряду с другими задачами, например совершенствованием организационной структуры. В этом пункте системотехника смыкается с организационным проектированием и теорией организации<sup>152</sup>.

Такое однородное операционное описание необходимо видоизменить с поправкой на разнородность объекта исследования и проектирования — сложной системы, поскольку в нем не учитываются социально-психологические, человеко-машинные и другие связи. Задача же комплексного исследования в системотехнике состоит не в том, чтобы свести всю сложность процессов в исследуемой и проектируемой системе, зафиксированную в многообразии научных и инженерных представлений, к одному процессу, а в том, чтобы в едином изображении представить все многообразие этих процессов. Необходимо синтезировать их представления, а не элиминировать отдельные характеристики данных процессов.

Рассмотренный способ решения проблемы целостности описания сложной системы в системотехнике соответствует принципу аддитивности. Целое, представленное в виде поточной системы, может быть сведено к сумме составляющих его частей, поскольку принцип расчленения заранее задан в самом способе представления.

(3) Третий способ целостного описания сложной технической системы в системотехнике основан на использовании методов и средств системного подхода. *Системные представления* позволяют учесть взаимодействие людей и машин, отношение системы с социальной и природной средой. Системные представления и понятия позволяют дать единое описание сложной системы, сохранив комплексный характер этого описания. Тем самым преодолевается ограниченность и синкретических схем, и поточных диаграмм, поскольку системный подход сочетает в себе и целостное, и иерархическое описание сложной системы.

Возникновение системного подхода тесно связано с необходимостью целостного описания объектов, поэтому системный подход снимает существующие в системотехнике специализированные односторонние подходы, выступая в виде методологической установки, задающей программу исследования. Эта программа ориентирует на рассмотрение предмета исследования как принципиально незамкнутого, допускающего его расширение за счет привлечения к анализу новых типов связей<sup>153</sup>. Именно поэтому системный подход — наиболее приемлемое методологическое средство синтеза системотехнических знаний.

Целостность сложной системы означает принципиальную несводимость ее свойств к сумме свойств составляющих ее элементов и

---

<sup>152</sup> См., например: Organisation als System. Wiesbaden: Betriebswirtschaftlicher Verlag Dr. Th. Gabler, 1972.

<sup>153</sup> См.: Юдин Б. Г. Системный подход и принцип деятельности. М.: Наука, 1978.



невыводимость из последних свойств целого. Иерархичность сложной системы означает, что каждый ее компонент, в свою очередь, может рассматриваться как система, а сам он является лишь одним из компонентов системы более высокого порядка. Причем целостность и иерархичность характеризуют любые системные представления.

Например, процессуальное представление системы предполагает расчленение ее функционирования и развития в иерархию состояний, которые, тем не менее, образуют целое – систему. В макроскопическом представлении подчеркивается целостность интеграции системы с окружающей средой. В то же время такое представление вместе с микроскопическим представлением системы как бы ограничивает, очерчивает верхний и нижний пределы иерархического разбиения системы на подсистемы. Функциональное представление также предполагает и целостность, и иерархичность системы. Однако при использовании системного подхода целостность сложной системы не может быть сведена к сумме ее частей.

Для системных представлений характерен приоритет целого над частями. Целое не сводимо к частям, так как сами части приобретают новые свойства при вхождении в целое, а целое имеет такие свойства, которые не могут быть сведены к свойствам частей, определяясь характером их взаимосвязи. Системный подход, таким образом, преодолевает противопоставление целого частям, поэтому решение проблемы целостного описания объекта исследования и проектирования в системотехнике на основе системных представлений соответствует принципу аддитивности.

### *3) Система системотехнических знаний — специфика комплексных теоретических исследований в неклассических научно-технических дисциплинах*

Системотехника в отличие от классических научно-технических дисциплин (радиотехника, прикладная механика, электротехника и др.) формируется неклассическим способом: в ней отсутствует ориентация на базовую естественнонаучную дисциплину как образец проведения научного исследования. В таких случаях используется сначала достаточно общий конкретно-методологический подход с «универсальной» сферой применения, которая затем постепенно специализируется относительно определенной предметной области — комплексной научно-технической проблемы. Исходным пунктом в данном случае является широкое научное движение, результатом которого может быть появление новой научной дисциплины<sup>154</sup>.

---

<sup>154</sup> Комплексные научные дисциплины формируются не по типу «исследовательское направление — область исследования — научная дисциплина», что характерно для классических наук, а по типу «научное движение — комплексная научная дисциплина». Научное движение захватывает, как правило, не одну научную дисциплину, а некоторое семейство, группу научных дисциплин, которые получают новые стимулы к собственному развитию, перестраивают в определенной мере свой концептуальный и математический аппарат, получают нетривиальные выходы в практику и т. д. В итоге, конечно, не обязательно появляется дисциплина (Горохов В.Г., Зинченко В.П., Мунипов В.М. Методологические проблемы эргономики // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1982. М.: Наука, 1982, с. 261, 262–263).

Особенность неклассического метода решения комплексных научно-технических проблем заключается в том, что используются не только базовая теория, а любые научно-технические дисциплины, теории, знания и методы, которые в перспективе синтезируются на общей конкретно-методологической основе в единую теоретическую систему научно-технической дисциплины, соответствующим образом перерабатываются и переосмысливаются. Наконец, разрабатываются новые специфические методы и теоретические средства исследования, позволяющие наиболее эффективно решать стоящие перед данной научно-технической дисциплиной задачи. Именно такой дисциплиной и является системотехника.

Системотехника включает в себя сложную совокупность различных типов знания:

- эвристические методы и приемы системотехнической практики; знания различных научных дисциплин, тем или иным образом используемые при создании сложных систем или организации системотехнической деятельности;
- собственно системотехнические теоретические средства.

Таким образом, средства и способы комплексного исследования в системотехнике заимствуются из различных научных дисциплин или специально разрабатываются для решения каждой конкретной проблемы. Они должны быть обобщены и переформулированы в своего рода частные теории систем, а их абстрактные объекты представлены как особые специальные системы, т. е. переведены в системный модус. Эти специальные системы могут быть далее синтезированы в различные (в зависимости от решаемой задачи) комплексные модели сложной технической системы. Пространство всех возможных (в том числе и гипотетических) комплексных системных моделей (вместе с совокупностью специальных систем) и составляет фундаментальную теоретическую схему системотехники, являющаяся, с одной стороны, обобщением частных теоретических схем, используемых в ней теорий, а с другой — конкретизацией системной картины мира, развиваемой в системном подходе и общей теории систем.

Проведение комплексного теоретического исследования в системотехнике предполагает множество частичных идеальных объектов теоретического знания. Сложная система может быть представлена и как информационная, и как человеко-машинная, и как элемент социальной системы и т. д. В комплексном теоретическом исследовании должны быть учтены все эти частичные представления, поскольку оно ориентировано на синтез используемых в нем теорий, единого объекта теории, в котором были бы сняты частичные идеальные объекты системотехнического знания (рис. 90).

Будем различать специальные и абстрактные системы. *Специальная система* строится в рамках одноаспектного теоретического исследования для задания идеального объекта теории. Частичный идеальный объект получает особую организацию — в материале объекта выделяются определенным образом организованные элементы и связи. В этом смысле можно говорить об экономической, информационной

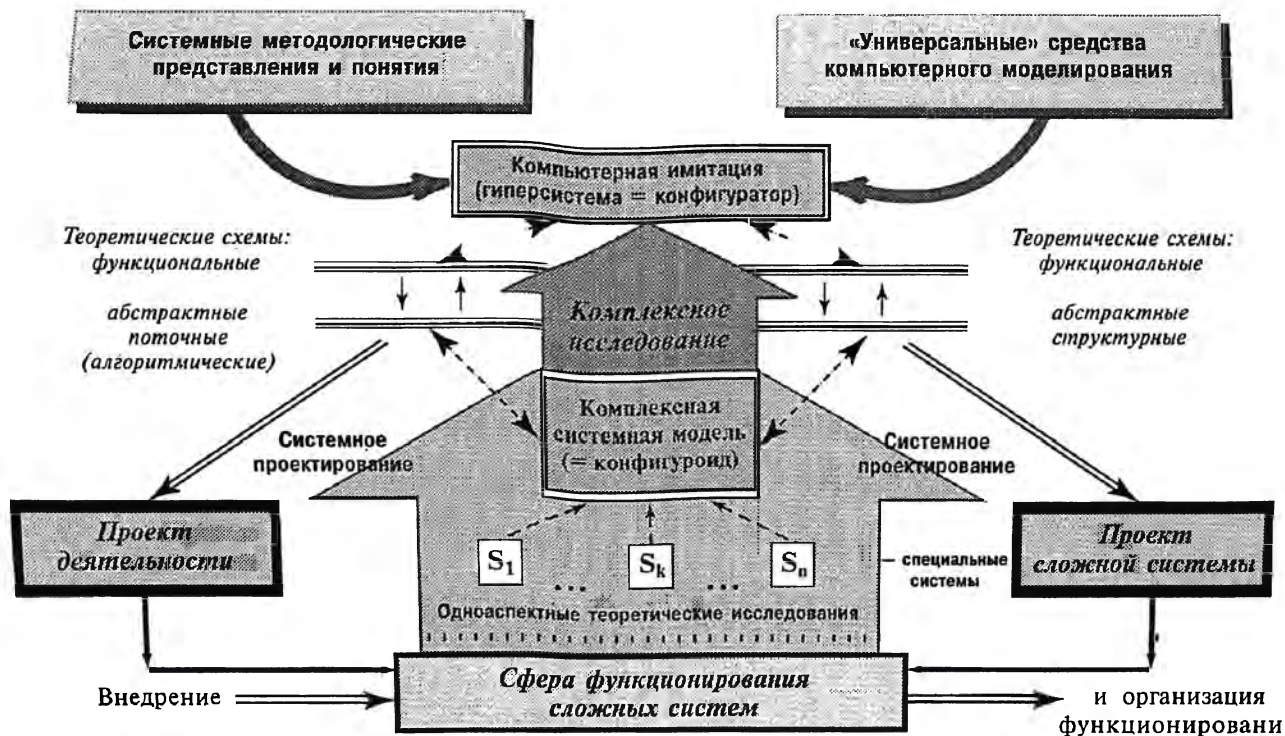


Рис. 90. Структура и функционирование теоретических исследований в неклассических научно-технических дисциплинах

и других специальных системах. Поскольку же в системотехнике синтезируются представления не только научно-теоретической, но и других видов деятельности, то и они могут и должны быть представлены в виде особых идеализированных конструкций — специальных систем.

*Абстрактная система (гиперсистема)* — это методологическое средство, общая схема синтеза определенного класса специальных систем, т. е. особым образом представленных частичных идеальных объектов системотехнического знания. Любая гиперсистема предполагает наличие фиксированного набора частичных идеальных объектов, включенных в данное комплексное исследование. В пределах данного комплексного исследования этот набор остается неизменным, однако различные сочетания идеальных объектов, представленных как специальные системы, позволяют получить множество комплексных системных моделей. Эти модели соответствуют задачам, решаемым в пределах комплексного исследования задач. Гиперсистема же определяет способы и процедуры построения комплексной системной модели из специальных систем.

В комплексном теоретическом исследовании представление объекта изучения меняется в зависимости от решаемой задачи, в него включаются различные идеальные объекты в различной комбинации. Поэтому важно задать принцип, схему синтеза частичных идеальных объектов, общую для любой задачи в пределах данного комплексного исследования. Этот методологический принцип синтеза специальных систем и задается гиперсистемой, представляющей собой своеобразный *конфигуратор* — «устройство» синтеза теоретических схем, «генератор» имитационных моделей системы, что позволяет при решении каждой исследовательской задачи собирать специальные системы в единую комплексную системную модель — кофигуриод. Тем самым обеспечивается единство самого комплексного исследования<sup>155</sup>.

Системная онтология (или системная картина мира) выполняет по отношению к системотехнике функцию методологического ориентира в выборе теоретических средств и методов решения комплексных научно-технических задач, дает возможность транслировать их из смежных дисциплин или методологической сферы. Она задает также методологический принцип конструирования комплексных системных моделей сложных технических систем, т. е. позволяет экстраполировать накопленный в системотехнике опыт на будущие проектные ситуации. Комплексные системные модели сложной технической системы, полученные на теоретическом уровне, могут быть использованы как исходный пункт проектирования новых систем. Таким образом, комплексное исследование в системотехнике является одновременно и теоретическим, и ориентированным на инженерную практику. Концептуальный каркас системотехнической теории составляют системные представления и понятия, специфицированные под соответствующий

---

<sup>155</sup> См. работы В.А. Лефевра и Г.П. Щедровицкого, например в сб.: Проблемы исследования систем и структур, с. 15–23, 61–67, 73–78, а также: Лефевр В.А. Конфликтующие структуры. М.: Сов. Радио, 1973.

класс комплексных научно-технических задач, а также определенным образом переосмысленные и сгруппированные понятия тех научных дисциплин, которые используются для решения системотехнических проблем. Математический аппарат в системотехнике предназначен как для инженерных расчетов, так и для анализа и синтеза сложных систем, точнее, их теоретических схем, т. е. различных дедуктивных преобразований абстрактных объектов, что обеспечивает саморазвитие системотехнической теории и дает возможность получить новые знания без обращения к инженерной практике. Причем применение математики даже только для инженерных расчетов требует уже определенной идеализации сложной технической системы. В системотехнике используется самый широкий спектр математических дисциплин и прежде всего теорий массового обслуживания, вероятностей, конечных автоматов, исследования операций и соответствующие разделы вычислительной математики<sup>156</sup>.

Для современных неклассических научно-технических дисциплин в отличие от классических технических наук характерна ориентация на общенаучные (методологические) представления и понятия (системные, кибернетические и др.) и «универсальные» средства имитационного моделирования на ЭВМ. Причем вместо анализа схем в них используется комплексное исследование, а вместо синтеза — системное проектирование сложной системы и самой системотехнической деятельности. Специальные системы синтезируются в комплексную модель в соответствии с гиперсистемой, которая позволяет учитывать не только научные, но и инженерные требования и ограничения. Это, в свою очередь, дает возможность использовать комплексную системную модель, полученную на теоретическом уровне, в качестве исходной при разработке системотехнического проекта. Из множества системных моделей выбираются одна или несколько, наиболее соответствующие техническому заданию. Системный характер модели определяет принцип распределения функций между проектировщиками по блокам, упрощает и сокращает проектировочный цикл, поскольку варианты системных теоретических моделей могут быть заготовлены впрок. При проектировании остается только изъять соответствующие системные модели из общей классификации и детализировать их в соответствии с проектом.

В системотехнической теории, как и в любой технической теории, на материале одной и той же сложной технической системы строятся несколько оперативных полей, которым соответствуют различные типы теоретических схем, обладающих, однако, рядом существенных особенностей. В системотехнике используется два типа однородных теоретических схем: абстрактные поточные (алгоритмические) схемы и абстрактные структурные схемы.

---

<sup>156</sup> См.: Бусленко Н. П., Калашников В. В., Коваленко И. Н. Лекции по теории сложных систем. М.: Сов. Радио, 1973; Alexander J. E., Bailey J. M. Systems Engineering Mathematics. Englewood Cliffs (N.J.): Prentice Hall, 1962; Wymore W. A. Mathematical Theory of Systems Engineering: the Elements. N.Y.: Wiley and Sons, 1967.

*Абстрактные поточные (алгоритмические) схемы* были обобщены в кибернетике и стали рассматриваться в плане преобразования потока субстанции (вещества, энергии и информации) независимо от его реализации. Они являются результатом абстрагирования от качественной определенности протекающего через систему и преобразуемого ею естественного процесса (который лишь в частном случае будет физическим процессом) и фактически становятся идеализированным представлением функционирования любой системы (в том числе и самой системотехнической деятельности, рассмотренной как система) и исходным пунктом программирования на ЭВМ<sup>157</sup>. Это обеспечивает связь с соответствующими функциональными схемами, зафиксированными в теории программирования.

Примером такого рода описания является разработка различных вариантов так называемой общей теории проектирования. Главное достижение такого рода теорий – математическая формулировка процесса проектирования, которая является предпосылкой автоматизации проектирования. Проектировочная деятельность тогда описывается как процесс, совершающийся поэтапно и с многочисленными уточнениями, в котором проектировщик ищет решения, удовлетворяющие некоторым заданным ограничениям. Далее следует формализация процесса проектирования. Такое представление важно не только для создания систем автоматизированного проектирования, но и для управления процессом проектирования, и для обучения инженеров-проектировщиков<sup>158</sup>. Однако в системотехнике должна быть задана алгоритмическая (поточная) схема не только проектной деятельности, но и других видов системотехнической деятельности, в том числе деятельности по эксплуатации (организации функционирования) сложной системы, предполагающей «поточное» описание алгоритма ее функционирования.

Таким образом, алгоритмические схемы применяются в системотехнике для описания и организации самой деятельности по созданию сложной системы, к которой относится и обеспечение функционирования этой системы. Алгоритм функционирования системы как бы сливается с алгоритмом этой деятельности, в особенности при создании автоматизированных систем управления, алгоритм функционирования которых описывает автоматизируемую управленческую деятельность<sup>159</sup>.

<sup>157</sup> См., например: Ершов А. П. Введение в теоретическое программирование. Беседы о методе. М.: Наука, 1977; Ляпунов А. А. Проблемы теоретической и прикладной кибернетики. М.: Наука, 1980.

<sup>158</sup> Tomiyama T. General Design Theory and its Extension and Applications. In: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop, Karlsruhe, Germany, May 1998. Ed. By Grabowski, S. Ryde, G. Grein. Aachen: Shaker Verlag, 1998, p. 25–44.

<sup>159</sup> Не случайно большинство монографий по системотехнике состоит из двух основных частей: описание структуры системы и процесс ее создания. Поэтому особой задачей системотехники является совмещение обоих данных описаний в единой теоретической модели. В целом ряде работ по теории проектирования также подчеркивается, что наука о проектировании включает в себя два типа знаний: знания о проектируемой технической системе и знания о процессе проектирования (см.: Hubka V., Schregenberger J.W. Paths Towards Design Science. In: Proceedings ICED-87 (International Conference of Engineering Design). Boston, 1987, p. 3–14; Wallace K.M., Hales C. Engineering Design Research Areas. In: Proceedings ICED-89. Harrogate, 1989, p. 554–562; Chang S. A Scientific Approach Towards Developing an Engineering Design Theory. In: Proceedings ICED-90. Dubrovnik, 1990, p. 61–67).

*Абстрактные структурные схемы* — это предельно абстрактное изображение статической структуры сложной системы, абстрагированное от качественной определенности ее конструктивных элементов. Эти схемы, появившиеся в результате обобщения различных структурных схем (теории автоматического регулирования <sup>160</sup>, теории сетей связи <sup>161</sup>, теории синтеза релейно-контактных схем <sup>162</sup> и логических схем вычислительных машин <sup>163</sup>, а также подобных схем, применяющихся в социально-экономических исследованиях <sup>164</sup>), развиваются в так называемом структурном анализе сложных систем, где прежде всего анализируются конфигурация системы, степень связанности и надежности ее элементов независимо от их конструктивного наполнения. Такие унифицированные абстрактные структурные схемы позволяют «изучать объект в наиболее чистом виде». Точно так же и Берталанфи говорит о математизации биологии с помощью особой «неколичественной или «образной математики»... в которой ведущую роль будет играть не понятие величины, а понятие формы или порядка» <sup>165</sup>. И при структурных исследованиях систем автоматического регулирования «в них не остается иного содержания, кроме связей, их числа, дифференциального порядка, знака и конфигурации ... уделяя особое внимание выявлению взаимных связей между элементами системы и тем самым выдвигая на первое место структуру системы, а не состав ее отдельных компонентов, получаем возможность единообразно исследовать различные по своей природе системы» <sup>166</sup>.

<sup>160</sup> Гальперин И.И. Синтез сложных систем автоматики. М.-Л.: Гос. Энергоиздат, 1960; Петров Б.П. О построении и преобразовании структурных схем. Известия АН СССР. ОТН, 1945; D.G. Prinz. Contributions to the theory of automatic controls and followers. In: J. Sci. Instr., 1944, vol. 21, № 4.

<sup>161</sup> Поваров Г.Н. О структурной теории сетей связи. В кн.: Проблемы передачи информации. М.: Изд-во АН СССР, вып. 1, 1959.

<sup>162</sup> Шэннон К. Работы по теории информации и кибернетике. М.: Сов. Радио, 1963.

<sup>163</sup> Захаров В.Н., Поспелов Д.А., Хазацкий В.Е. Системы управления: Задание. Проектирование. Реализация. М.: Энергия, 1977.

<sup>164</sup> Хофер А., Герхард Г. Графические методы в управлении. М.: Экономика, 1971.

<sup>165</sup> Von Bertalanffy L. Das biologische Weltbild. Bd. 1. Die Stellung des Leben in Natur und Wissenschaft. Bern: A. Francke AG. Verlag, 1949, S. 150. Эти или сходные идеи легли в основу математического представления морфогенеза, например, в теории «катастроф» Рене Тома, который пишет: «Я верю, что формальные структуры существуют также и в биологии, даже имеются геометрические объекты, которые устанавливают единственно возможные формы, могущие иметь в данной окружающей среде самовоспроизводящуюся динамику» (см.: Thom R. Structural Stability and Morphogenesis. Reading, Massachusetts: W.A. Benjamin, Inc., 1975, p. 320; а также Thom R. Mathematical Models of Morphogenesis. N.Y.: John Wiley & Sons INC., 1983). «Том попытался развить систему — мы можем обозначить ее как динамический платонизм, — которая позволяет математически описывать не только формы, но и трансформации одной формы в другую» (Sheldrake R. Das Gedächtnis der Natur. Das Geheimnis der Entstehung der Formen in der Natur. München: Piper, 1978, S. 137).

<sup>166</sup> Нечипоренко В.И. Структурный анализ и методы построения сложных систем. М.: Сов. Радио, 1977, с. 11–12. См. также: Нечипоренко В.И. Структурный анализ систем (эффективность и надежность). М.: Сов. Радио, 1968; Цвиркун А.Д. Структура сложных систем. М.: Сов. Радио, 1975.

Дальнейшая манипуляция с моделью может быть осуществлена, например, с помощью адекватного решаемой задаче алгоритмического языка имитационного моделирования: на основе данной структурной схемы составляется соответствующая поточная (алгоритмическая) схема функционирования модели (системы), которая автоматически переводится в машинный код и, в свою очередь, соответствует определенной функциональной (математической) схеме.

Таким образом, структурные и поточные схемы современной технической теории являются более общими и формируются, с одной стороны, как конкретизация некой «универсальной» онтологической схемы, например системной онтологии, принципы которой развиваются в широкой методологической сфере, а с другой стороны, как обобщение соответствующих частных теоретических схем различных теорий (как естественнонаучных, так и технических).

Основная проблема теоретической системотехники — переход от синкретического описания сложной инженерной задачи с помощью теоретических средств и представлений различных научных дисциплин к однородной абстрактной теоретической схеме, где используется единообразное описание качественно разнородных элементов. Это необходимо, в свою очередь, для того, чтобы применить в системотехнике соответствующий математический аппарат. Именно поэтому в теоретической системотехнике структурные и поточные теоретические схемы формируются как предельно абстрактные. В классической технической науке они являются гораздо более специализированными и частными, в особенности структурные схемы.

Функциональные схемы в системотехнике могут быть двух типов: функциональные схемы, развиваемые в структурном анализе с целью исследования структуры сложных систем, соответствующие абстрактным структурным схемам системотехники, и функциональные схемы, разработанные в теоретическом программировании и адекватные абстрактным поточным (алгоритмическим) схемам. В системотехнике эти два типа теоретических схем совмещаются на одном уровне абстракции, но в разных планах, например в алгоритмических языках имитационного моделирования поточная (алгоритмическая) схема накладывается на структурную (статическую) схему моделируемой системы. Причем правила преобразования структурных и поточных схем в функциональные (математические) схемы формализованы и само такое преобразование автоматически осуществляет ЭВМ. Полученные в результате имитационного моделирования различные схемы сложной системы, отражающие разные его аспекты и режимы функционирования, должны быть представлены с помощью конфигуратора в виде единого системного изображения — конфигуроида, который в то же время должен оставаться комплексным, т. е. учитывать разнородность моделируемой сложной системы. Поскольку такого рода синтез будет достаточно сложным, он должен осуществляться при компьютерной поддержке. Проблема заключается в том, чтобы нормировать и унифицировать процедуры синтеза.



Мы рассмотрели идеализированный образ комплексного теоретического исследования — для его реализации необходимо разработать систему однородных описаний сложных систем, для чего, в свою очередь, требуется:

обобщить различные структурные и алгоритмические (поточные) схемы, применяемые в разных областях науки и техники;

сформулировать четкие правила эквивалентного преобразования синкретических схем системотехники в однородные поточные и структурные схемы, т. е. правила их построения и операции тождественного преобразования (такие исследования уже проводятся в рамках упомянутого структурного анализа и теории программирования);

добиться их соответствия функциональным (математическим) схемам, наиболее часто употребляемым в системотехнике<sup>167</sup>. Для этого необходимо проанализировать и обобщить концептуальный аппарат и соответствующий ему «образ объекта», содержащий имплицитно в различных алгоритмических языках имитационного моделирования, адекватных математическим схемам.

После выполнения этих условий синкретическое описание любой сложной системы, относящейся к классу системотехнических, может быть представлено в зависимости от режима ее функционирования и решаемой инженерной задачи по установленным правилам в виде определенной однородной сначала структурной, а затем и поточной схем. Для каждой данной системы может быть построено несколько взаимодополняющих схем, которые, в свою очередь, могут быть в соответствии со специально разработанными для этого правилами и с помощью наиболее подходящего алгоритмического языка имитационного моделирования преобразованы в соответствующую математическую компьютерную модель. Синтезированное таким образом решение (или несколько альтернативных решений) транслируется на уровень синкретических структурных схем и лишь после этого становится пригодным для использования в системотехнической практике.

В настоящее время образовался известный разрыв между слоями синкретических схем системотехники, ориентированных на конкретные инженерные задачи, и их различных математических описаний. Для преодоления этого разрыва необходимо развить промежуточный слой системных представлений. Независимо от того, будет ли в итоге построена универсальная математическая модель<sup>168</sup> или сохранится полифония математических моделей, зафиксированных в различных языках имитационного моделирования, необходимо выработать средства такого описания и моделирования не только сложной системы, но и самой системотехнической деятельности<sup>169</sup>. Таким образом, задача построения математизированной системотехнической теории заключается главным образом в том, чтобы разработать абстрактные структурные и поточные теоретические схемы с соответствующими

---

<sup>167</sup> Классификация таких математических схем дана, например, в работах: Бусленко Н.П. Моделирование сложных систем. М.: Наука, 1978; Бусленко Н.П., Калашников В.В., Коваленко И.Н. Лекции по теории сложных систем. М.: Сов. Радио, 1973.

<sup>168</sup> Эта точка зрения выражена в работах: Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. М.: Наука, 1977; Бусленко Н.П. К теории сложных систем. В: Техническая кибернетика. Известия АН СССР, 1963, № 5, с. 7–18.

<sup>169</sup> Об этом см.: *Поспелов Г.С., Тейман А.Н.* Автоматизация процесса управления разработками больших систем или сложных комплексов // Техническая кибернетика. Известия АН СССР, 1963, № 4, с. 60–79.

способами их графического изображения. Причем самую большую трудность в настоящее время представляет в первую очередь содержательное системное описание имитационной модели в некоторой стандартной форме, а не ее формализация.

Кроме того, важно отметить, что рассмотренный нами методологический идеал построения комплексного теоретического исследования не является единственным. В качестве методологической нормы построения современной научно-технической дисциплины рассматривается также синкретизм развиваемых в них теоретических построений, связанный с необходимостью использования самых различных наук и знаний при решении комплексных по своей сути исследовательских и проектных задач. Эти представления могут быть зафиксированы в концептуальных схемах данного вида научно-технической деятельности, построенных на основе систематизации и методической обработки единичного опыта работы. Причем дальше построения общих концептуальных схем, специально приспособленных для фиксации соответствующих методических приемов и предписаний (как правило, системно ориентированных), дело в принципе не идет.

Пример такого рода организации знаний в комплексном исследовании демонстрирует, например, эргономика, имеющая тот же предмет исследования, что и системотехника, но иную проблемную область — деятельность человека, которая «представляет собой начало и завершение эргономического исследования, эргономической оценки и эргономического проектирования». В то время как системотехника ориентирована в конечном счете на максимально возможную и разумную автоматизацию человеческой деятельности (как самой системотехнической деятельности — автоматизация проектирования и конструирования, — так и автоматизацию функционирования сложных систем), «в эргономике в принципе неприемлем такой подход. В ней анализируются специфические черты деятельности сложной человеко-машинной системы, а технические средства рассматриваются как включенные в нее. И если в системотехнике с определенной поправкой можно все же считать алгоритмическое описание деятельности удовлетворительным, то с точки зрения эргономики оно «не работает» (является слишком грубым, приблизительным)»<sup>170</sup>. Поэтому ее описание фиксируется в виде особых концептуальных схем деятельности», которые формируются, с одной стороны, на базе конкретизации представлений деятельности, развитых в системном подходе, а с другой стороны систематизации и методической обработки единичного опыта работы — в так называемых прецедентах и списочных структурах<sup>171</sup>. Однако последние могут быть рассмотрены также как эмпирический уровень знания по отношению к комплексному теоретическому исследованию в системотехнике.

Рассмотрим кратко особенности функционирования теоретических исследований в неклассических научно-технических дисциплинах.

---

<sup>170</sup> Горохов В. Г., Зинченко В. П., Мунипов В. М. Методологические проблемы эргономики // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1982. М.: Наука, 1982.

<sup>171</sup> См. работы Н. Г. Алексеева в кн.: Проблемы методологии в эргономике. М., 1977 (Труды ВНИИТЭ. Эргономика, вып. 17); Проблемы методологии эргономического исследования. М., 1981 (Труды ВНИИТЭ. Эргономика, вып. 20).

В классической технической теории (например, теории электрических цепей) сначала строится структурная схема устройства, которая по определенным правилам соответствия преобразуется в поточную, а затем в эквивалентную ей функциональную, например операторную, схему. На основе последней составляются системы уравнений, в которые могут быть подставлены конкретные значения исследуемых параметров. Решение этих систем уравнений позволяет определить либо неизвестные параметры некоторых структурных элементов (электрической цепи) при известных характеристиках протекающего через них естественного процесса (в данном случае электрического тока), либо, наоборот, — неизвестные характеристики электрического тока при известных параметрах элементов.

В современных неклассических научно-технических дисциплинах сложность проектируемых систем обуславливает необходимость теоретического исследования и математического описания не только процесса их функционирования, но и их структурных схем. Поэтому в них решаются математические задачи двух типов: 1) определение ранга, связности, надежности и других элементов и структуры системы; 2) расчет параметров ее функционирования. Кроме того, поскольку в данном случае речь идет о качественно новом деятельностном объекте исследования и проектирования, возникает проблема системно-деятельностного его представления<sup>172</sup>. Это выражается, в частности, в необходимости сопоставления абстрактной структурной и абстрактной поточной схем одного и того же объекта в его синкретическом структурно-функциональном описании. Например, во многих алгоритмических языках имитационного моделирования статическая структура системы совмещается на единой блок-схеме с алгоритмом ее функционирования, который рассматривается как последовательность операций, выполняемых элементами статической структуры. Наконец, в силу комплексного характера теоретических исследований в современных неклассических научно-технических дисциплинах их задача заключается не только в том, чтобы выявить различные аспекты и режимы работы исследуемой (проектируемой) системы, подлежащие обобщенному описанию и расчету, но и собрать все полученные результаты в единую многоаспектную и многоплановую (имитационную) модель. Эта задача, которая в рамках классической технической теории в принципе не ставилась, решается в системотехнике с помощью имитационного моделирования сложных систем, при котором концептуальному аппарату и теоретическим схемам системного подхода, зафиксированным в системных представлениях, ставится в соответствие определенный математический аппарат.

---

<sup>172</sup> «Прагматический модельно-теоретический подход к рассмотрению технических инструментов должен быть дополнен или расширен на основе теоретико-деятельностных представлений, что в особенности соответствует точке зрения теоретиков проектирования» (Lenk H. Epistemological Remarks Concerning the Concepts «Theory» and «Theoretical Concepts». In: Universal Design Theory. Proceedings of the workshop, Karlsruhe, Germany, May 1998. Ed. By Grabowski, S. Ryde, G. Grein. Aachen: Shaker Verlag, 1998, p. 350).

Таким образом, мы определили, что для решения комплексных системотехнических задач инженер-системотехник должен иметь целостное представление объекта проектирования — сложной человеко-машинной системы. Это необходимо прежде всего для обеспечения стыковки компонентов таких систем в единое целое. Именно с этой целью и используется так называемое имитационное моделирование, получившее в настоящее время широкое распространение в различных областях науки и техники <sup>173</sup>.

Имитация, или, другими словами, моделирование функционирования системы позволяет уже на ранних этапах проектирования представить систему как целостный объект. Анализируя такую модель, инженер-системотехник может на научно-обоснованной основе выбрать наиболее подходящую реализацию отдельных компонентов с точки зрения их взаимосвязи и взаимного функционирования, заранее учесть различные факторы, влияющие на систему в целом, и условия ее функционирования, выбрать наиболее оптимальную структуру и наиболее эффективный режим ее работы. Однако применительно к сложным человеко-машинным системам такой анализ невыполним средствами традиционного моделирования и проектирования, — в этом случае обязательно требуется компьютерная поддержка. Без использования современной вычислительной техники невозможно учесть те многочисленные необходимые исследователю и проектировщику данные о сложной системе, особенно если иметь в виду их разнородность, обусловленную использованием знаний самых различных дисциплин и участием в создании таких систем различных специалистов. Кроме того, на компьютере можно моделировать сложные связи между компонентами системы и зависимости между процессами их функционирования. Такая автоматизация имитационного моделирования как раз и предусматривает расширение возможностей исследователя и проектировщика в области прогнозирования поведения системы в различных условиях и выбора адекватных этим условиям проектных решений.

Особое значение имитационное моделирование на ЭВМ приобретает в системотехнике. Создание так называемых диалоговых систем позволяет инженеру-системотехнику значительно расширить набор аналитических средств, повысить качество и обоснованность проектных решений и существенно сократить время их выработки.

---

<sup>173</sup> Бусленко В.Н. Автоматизация имитационного моделирования сложных систем. М.: Наука, 1977; Мартин Ф. Моделирование на вычислительных машинах. М.: Сов. Радио, 1972; Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. М.: Мир, 1975; Шэннон Р. Имитационное моделирование систем: искусство и наука. М.: Мир, 1978; Киндлер Е. Языки моделирования. М.: Энергоатомиздат, 1985; Bossel H. Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1994.

Диалоговые системы называются так именно потому, что между исследователем (проектировщиком) и компьютером осуществляется своего рода диалог: человек не только вводит данные в машину и получает готовое решение, но и может изменить условия в ходе моделирования, корректировать этот процесс. В системотехнике очень важно осуществить стыковку подсистем проектируемой системы и различных специалистов, участвующих в их создании, уже на ранних стадиях проектирования. Диалоговые системы позволяют работать с единой моделью (вводить в нее новые данные, вносить коррективы и т. д.) как специалистам в определенной области, так и универсалистам. Причем в компьютере эти данные варьируются и выдаются варианты решения, из которых можно выбрать наиболее подходящие для данного случая (принятие решения остается, конечно, прерогативой человека). Можно, кроме того, вызвать из памяти компьютера нужные данные, поскольку целостная модель проектируемой или исследуемой системы постоянно хранится в нем в течение всего процесса проектирования (исследования). Это существенно облегчает работу инженера-системотехника.

Имитационное моделирование на ЭВМ позволяет исследовать сложные внутренние взаимодействия в системе, изучать влияние на ее функционирование структурных изменений. Для этого в модель вносят соответствующие изменения и отмечают их влияние на поведение системы. Точно так же исследуется влияние изменений в окружающей среде. На основе полученных в результате моделирования данных разрабатываются предложения по улучшению структуры существующей системы или созданию новой структуры. Влияние этих нововведений можно проверить с помощью имитации еще до их практического внедрения. Имитационное моделирование на ЭВМ необходимо для предварительной проверки новых стратегий и решений, предсказания на модели «узких» мест, имеющихся в системе, описания и прогнозирования на ней возможных путей естественного развития имитируемой системы в различных условиях и обоснования выбора вариантов ее структуры при соответствующих изменениях этих условий. Кроме того, оно позволяет автоматизированным способом формировать и распознавать структуры, оптимизировать их по заданному критерию, имитировать динамику системы на этих структурах и оценивать качество вариантов моделей проектируемой системы, а следовательно, и ее самой.

Имитационное моделирование на ЭВМ состоит из следующих этапов:

- формулировка целей моделирования (постановка проблемы); системное обследование объекта моделирования (сбор исходных данных);
- построение модели, объясняющей поведение объекта моделирования, т. е. проектируемой и исследуемой системы, на естественном языке в словесном или графическом выражении с развернутой формулировкой гипотезы, которую необходимо проверить;
- формализованное системное описание модели;

компьютерное экспериментирование с моделью, предсказание поведения объекта моделирования для различных условий (генерация вариантов модели);

- выбор наиболее пригодного для данных условий варианта модели, его оптимизация и обоснование выбора;
- интерпретация модели, т. е. перенесение знаний, полученных в результате манипуляций с моделью, на проектируемую (исследуемую) систему, формулировка конкретных рекомендаций на основе результатов экспериментирования с моделью (обработка результатов эксперимента).

*Формулировка проблемы* прежде всего подразумевает ясное изложение целей имитационного эксперимента, т. е. осознание и явное представление тех результатов, которые желательно получить в процессе экспериментирования с моделью. Эти цели формулируются либо в виде вопросов, на которые надо ответить, либо в виде гипотез, которые надо проверить. Цели модели определяют ее содержание. Каждая модель должна использоваться только для той цели, для которой она разработана.

Характер *системного обследования объекта моделирования* непосредственно зависит от формулировки целей модельного эксперимента. В ходе обследования важно определить, какие исходные данные необходимы и достаточны для решения поставленной проблемы с помощью имитационного моделирования и в каком виде они должны быть представлены. Должны быть также разработаны методики сбора данных и проверки их адекватности и тщательно продумана организация сбора данных. В процессе системного обследования осуществляется предварительный анализ этих данных. На основе собранной исходной информации формулируется релевантное представление о структуре и функциях системы и строится затем модель, имитирующая поведение системы.

Первоначально модель необязательно должна иметь строго формализованный вид. Цель *предварительного описания модели* — сформулировать его на языке, наиболее приближающемся к естественному, т. е. в терминах, понятных и человеку, не являющемуся специалистом по имитационному моделированию, на содержательном уровне. Поэтому такую модель часто называют вербальной (словесной). На следующем этапе модель должна быть представлена уже в формализованном виде с помощью соответствующих языков программирования. Сначала осуществляется качественный анализ модели, т. е. проверка корректности ее структуры, разработка альтернативных форм представления и попытка достижения наивысшей компактности ее представления. На основе формулировки предварительных результатов моделирования осуществляются корректировка модели и сбор недостающих или вновь требуемых дополнительных данных. Конечным продуктом разработки модели являются математические соотношения или эквивалентная им схема системы (блок-схема, векторная диаграмма или схема, построенная на основе теории графов, и т. п.), которые знаменуют переход от вербальной к математической модели (квантификацию) и могут стать исходным пунктом для программирования имитационной модели. В настоящее время сложная имитационная модель строится, как правило, из стандартных блоков-моделей элементарных систем, заданных в «банке (библиотеке) моделей» и имеющих заранее разработанные стандартные схемные и программные представления<sup>174</sup>.

---

<sup>174</sup> Bossel H. Modellbildung und Simulation. Konzepte, Verfahren und Modelle zum Verhalten dynamischer Systeme. Braunschweig, Wiesbaden: Vieweg, 1994, S. 249–343.

Формализация структуры имитационной модели может осуществляться самыми разнообразными способами и с помощью различных языков программирования – как общих, так и специальных. Способ представления модели должен соответствовать поставленной проблеме, цели моделирования и требованиям потенциального пользователя. Каждый язык программирования имеет свои преимущества и ограничения, различные концептуальные средства представления и возможности моделирования, приспособленные к решению конкретных задач и имитации определенных аспектов моделируемой системы. Поэтому выбор языка программирования определяется целями моделирования и часто, в свою очередь, предопределяет характер экспериментирования с моделью.

Экспериментирование с моделью на компьютере заключается в изменении входных данных, т. е. условий функционирования объекта моделирования. В данном случае производится генерация вариантов модели, предсказывающих поведение системы в гипотетически изменившихся условиях. Поэтому говорят о системном математическом анализе и имитации динамики (т. е. функционирования и развития) системы или, иначе, моделировании динамических систем.

Выбор наиболее пригодного для данных условий варианта модели и оптимизация этого варианта являются проектными задачами и непосредственно зависят от целей исследования или проектирования.

Такой выбор диктуется прежде всего содержательными критериями, т. е. интерпретацией модели, заключающейся в определении области и границ, в которых результаты, полученные на модели, являются справедливыми для исследуемой или проектируемой системы. На основе экспериментирования с имитационной моделью строится проект изменения системы.

В настоящее время для организации эффективного диалога проектировщика (исследователя) с компьютером используются современные технические и программные средства, которые облегчают ввод информации и выдачу результатов моделирования. К таким программным средствам относятся, в частности, специализированные алгоритмические языки моделирования, каждый из которых имеет тщательно разработанную систему абстракций, закрепленных в соответствующей концептуальной схеме и представляющих собой основу для формализации. Они представляют особый интерес для методологического анализа, поскольку и в алгоритмических языках имитационного моделирования, и в различных вариантах общей теории систем разработаны сходные понятия и представлений. Одной из основных целей многих вариантов общей теории систем считается разработка формализованного описания сложных систем независимо от их природы<sup>175</sup>, а эта задача во многом решена в рамках алгоритмических языков имитационного моделирования<sup>176</sup>: жестко заданная система понятий, объем и содержание которых четко определены, облегчает формализацию проблемы, подлежащей решению с помощью имитационной модели.

---

<sup>175</sup> См., например: *Klir G. J. An Approach to General Systems Theory*. N.Y.: Van Nostrand Reinhold, 1969.

<sup>176</sup> Об этих языках см., например: Дал У.И. Языки моделирования систем с дискретными событиями. М.: Мир, 1969; Нейлор Т. Машинные имитационные эксперименты с моделями экономических систем. М.: Мир, 1975; Krasnow H.S., Merikallio R.A. *The Past, Present and Future of General Simulations Languages*.

В понятиях алгоритмических языков имитационного моделирования задается «образ» объекта, детерминированный той или иной математической теорией, интерпретацией которой является данный язык (например, теорией массового обслуживания). Поэтому концептуальный каркас такого языка в значительной степени определяет и область его применения. Кроме того, с каждым из этих языков связан определенный математический аппарат: для описания процессов функционирования сложных систем используются обычно теория вероятностей, математическая статистика и теория массового обслуживания (которые наиболее пригодны для формализации именно процессуального системного представления), для описания взаимосвязей элементов системы, а также системы и системного окружения и для ее иерархического представления — главным образом теория множеств и исчисление предикатов.

Применение алгоритмических языков имитационного моделирования в плане математизации и формализации системных представлений не только важно для развития теоретической системотехники, но и является средством математизации как современных научно-технических знаний, так и многих других наук, ранее не поддававшихся математизации. В этом смысле системные представления могут быть рассмотрены как теоретические схемы комплексного теоретического исследования сложных систем любой природы, а основные понятия системного подхода (элемент, системное окружение, связь и т. п.), с ним связанные — как его концептуальный аппарат. Математический аппарат этого исследования может быть заимствован из алгоритмических языков имитационного моделирования, соответствующих данным представлениям и понятиям.

Компьютерная имитация часто рассматривается как символическая система, средняя между обычным языком и математикой. Описываемые в рамках имитационной программы теории становятся более точными (эта точность задается за счет использования синтаксических структур языков программирования), чем сформулированные на обычном языке. Во то же время они более гибкие, чем теории, математически формализованные обычным путем. Во многих науках, например социальных науках, психологии, науках о поведении, в которых теории традиционно не могут быть настолько же формализованными и точными, как математизированные физические теории, это приводит к экспликации в них теоретических положений и понятий, выявлению разрывов в аргументации и обосновании теоретических предположений, конструктивной критике этих теорий. Именно аспект необходимости в процессе построения имитационных моделей

---

In: Management Sciences, 1964, № II, p. 3–21; Tocher K.D. Review of Simulation Languages. In: Operational Research Quarterly, 1965, № 6, p. 6–27. Сравнительный системный анализ этих языков см. также в книге: Горохов В.Г. Методологический анализ системных представлений в алгоритмических языках имитационного моделирования // Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1980. М.: Наука, 1981.



экспликации имплицитных положений той или иной теории является одним из самых важных преимуществ имитационного моделирования. Наряду с формализацией имитационные модели выполняют также важную эвристическую функцию, особенно при моделировании динамики различных исследуемых процессов. Даже при наличии достаточно тривиальных моделей компьютерное моделирование дает возможность представить результаты исследования яснее, проще и быстрее<sup>177</sup>.

Однако существенным недостатком алгоритмических языков имитационного моделирования является отсутствие механизмов моделирования эволюции и развития сложных систем. Языки ориентированы в основном на отображение функционирования этих систем в рамках заданного неизменяющегося режима. Обычно развитие анализируется лишь в процессе сравнения исследователем отдельных моделей различных режимов функционирования данной системы. Моделирование процесса развития должно происходить на двух уровнях: на микроуровне, где анализируются взаимодействия между внутренними элементами системы, и на макроуровне, где учитываются взаимодействия данной системы с другими системами, находящимися с ней на одном уровне иерархии. Именно моделирование динамики взаимных зависимостей этих двух уровней может открыть путь к единой модели развивающейся системы. В наиболее общем случае элементы анализируемой системы должны быть рассмотрены как активные элементы, имеющие кроме общей системной программы собственные программы развития. На пересечении этих двух целей — внутренней цели элемента и цели развития системы — формируется вектор развития каждого элемента. В результате имитационного моделирования может быть получено множество возможных линий развития системы, из которых реализуется только одна.

Главным отличием подлинного развития системы от различного рода модификаций ее структурно-алгоритмической основы являются динамический процесс достижения целостности более высокого порядка, включение новых или создание недостающих элементов, которые необходимы для реализации принятой программы достижения цели. Моделирование развития системы может быть осуществлено с помощью программного выбора наиболее оптимальной модификации внутренней структуры и изменения алгоритма внешнего функционирования системы как результата целенаправленного разрешения конфликтных ситуаций по комплектованию элементов системы (микроуровень) и между системой и окружающей ее средой (макроуровень).

Это в особенности относится к моделированию поведения живых систем.

---

<sup>177</sup> Schnell R. Computersimulationen und Theoriebildung in der Sozialwissenschaften. In: Kölner Zeitschrift für Soziologie und Sozialpsychologie, 1990, H. 1.

Успехи механистической картины мира, объяснение мировых процессов с использованием механических аналогий не означало, что в недрах научного познания не развивалась иная парадигма, связанная прежде всего с развитием органицистических представлений. Представление мировой машины постепенно начинает вытесняться мировым органицизмом. Иоганн Готфрид Гердер (1744—1803), немецкий гуманист и философ, критиковал механистическое мировоззрение, считая, что с помощью классической физики и математики могут быть объяснены лишь явления неорганического мира. «Гердер проводит окончательное и отчетливое различие между *механистическим* и *органицистическим* подходами — между *мировым механизмом* и *мировым органицизмом*, после того как Лейбниц это различие перескочил одним единым духовным *Salto-mortale*»<sup>178</sup>. Этот процесс происходил на всех уровнях — от мирового целого до отдельных органицизов и их частей<sup>179</sup>.

В особенности это было связано с развитием антимеханистических тенденций в биологии. В начале XX в. появляется тенденция к анализу биологических явлений как целостных, не сводимых к элементарным частям и механизмам, получившая выражение в научных движениях витализма, холизма, органицизма и т. д. В работах Ханса Дриша формулируется даже особая философия органицизма. Органицистическое противопоставляется механистическому, органицизм — машине, поскольку в отличие от нее содержит свой организационный принцип в самом себе. Методы физического экспериментального естествознания, выработанные для неживых систем, признаются непригодными для анализа биологических явлений и процессов, являющихся живыми системами. «Биолог и натурфилософ Дриш попытался получить экспериментальное доказательство того, что физические и химические принципы объяснения биологических проблем являются недостаточными: органицизм больше суммы составляющих его материальных частей; он представляет целостность, и все явления в органицистическом мире подчиняются «целостной причинности»; идея целого внутренне присуща уже частям, и душеподобный фактор «энтелихии» целенаправленно регулирует и управляет всеми процессами в сфере органицистического»<sup>180</sup>. Можно втиснуть искусственно разделенные на части куски живой материи между двух стеклянных пластин,

<sup>178</sup> Orthbrandt E. Geschichte der großen Philosophen und philosophischen Denkens. Hanau: Verlag Werner Dausein, S. 348.

<sup>179</sup> Например, Альфред Уайтхед утверждал, что понятие органицизма становится основополагающим в природе, что также и кристаллы, молекулы, атомы и субатомные частицы являются живыми органицизмами. Биология для него занимается изучением больших органицизов, а физика — малых органицизов, а в свете новой космологии также космических органицизов (галактических, звездных, планетарных). (См.: Sheldrake R. Das Gedächtnis der Natur. Das Geheimnis der Entstehung der Formen in der Natur. München: Piper, 1978, S. 80).

<sup>180</sup> Grochla E. Systemtheorie und Organisationstheorie. In: Organisation als System. Wiesbaden: Gabler, 1972, S. 125–126.

деформировав естественные условия их существования, чтобы исследовать их под микроскопом, но тогда исчезают и ускользают от рассмотрения характерные для любого организма жизненные силы. Такое отрицание возможности исследования отдельных жизненных процессов в искусственно изолированных условиях направлено против установок экспериментального физического исследования, но тогда, исходя из парадигмы классического естествознания, научное исследование таких процессов вообще становится невозможным.

Разделяя на части простейшие организмы, можно каждый раз получить из них нормальный живой организм, т. е. то же целое, которое было до его разделения. «Биолог и философ Ханс Дриш экспериментировал в 1890-е годы с эмбрионом морского ежа и установил, что из половинки этого эмбриона не развивается половина морского ежа», как предсказывала общепринятая теория, поскольку появляется целый организм, хотя и меньшего размера. «Если же два эмбриона на ранней стадии искусственно соединяются вместе, тогда также появляется не двойной еж, а нормальный»<sup>181</sup>. На основании этих опытов Дриш пришел к выводу, что не только учение его учителя Августа Вейсмана, механистически настроенного биолога, но и его собственные идеи о развитии организма на основе стабильной структуры по аналогии с созданной человеком машины являются неверными. Для Дриша доказательством автономии жизненных процессов служат: во-первых, способность клеток размножаться, образуя «сложную эквипотенциальную систему», в которой «каждый отдельный элемент совокупности клеток может выполнять функции составного целого»; и, во-вторых, способность животных к регуляции своего поведения на основе опыта<sup>182</sup>. Однако в результате развития обеих этих программ биологии выяснилось, что «материалистическая (но механистическая по своей сути) попытка сведения организма к его частям и протекающим в них процессам, попытка представить организм как простую сумму его частей, объяснить его поведение (как целостного образования) как сумму того, что делают его отдельные части, точно так же не дает результата, как и антинаучная попытка объяснения особенностей организма как целого, исходя из тех или иных виталистических концепций»<sup>183</sup>.

<sup>181</sup> «После открытия Дриша были найдены многие другие примеры эмбриональной регуляции и не только для ранней стадии развития эмбрионов, но и для развитых органов эмбрионов на более поздней стадии. ... Дриш был того мнения, что регуляционные возможности эмбрионов показывают, что их части развиваются не независимо друг от друга и не строго детерминированным образом. Они в большей мере реагируют одна на другую и приспосабливаются одна к другой. Они могут изменить ход их развития, если другие части будут уничтожены. Дриш, таким образом, опроверг теорию детерминантов Вейсмана», согласно которой в зародышевой плазме уже содержатся все исходные формы для построения взрослого организма (Sheldrake R. Das Gedächtnis der Natur. Das Geheimnis der Entstehung der Formen in der Natur. München: Piper, 1996, S. 108–109).

<sup>182</sup> Ungerer E. Hans Driesch. In: Forscher und Wissenschaftler in heutigen Europa. Erforscher des Lebens. Hamburg: Gerhard Stalling Verlag, 1955, S. 222–223.

<sup>183</sup> Смирнов С.Н. Элементы философского содержания понятия «система» как ступени развития познания и общественной практики. В кн.: Системный анализ и научное знание. М.: Наука, 1978, с. 74.

Людвиг фон Берталанфи, исходя из посылки о необходимости переноса акцента исследований с частей на органическое целое и отвергая в то же время витализм, формулирует сначала в своих работах по теоретической биологии новый *организмический подход*: биологический порядок является специфическим и выходит за пределы закономерностей сферы неживой природы, но мы можем все более и более глубоко исследовать биологические процессы с целью установить более точные законы, соответствующие сущности органического, т. е. органические системы подчиняются иным закономерностям, чем неорганические<sup>184</sup>. «В особенности в биологии становится особенно отчетливой противоположность между «механистическим» и «целостным» способами рассмотрения при объяснении органической жизни. Так, механистическое направление в биологии пыталось исследовать физическими методами свойства и характер отношений органических структур и объяснить их с помощью физико-химических законов. Такие телеологические процессы, как приспособление, саморегуляция и самовоспроизведение, не могли быть, однако, полностью объяснены, исходя из физико-химических принципов, и рассматривались поэтому как метафизические. ... Аналогично Дришу первоначально и Берталанфи подчеркивает целостный характер органических структур. Однако в противоположность Дришу он отвергает как метафизическую и поэтому ненаучную «виталистическую» посылку, что эту целостность определяет «фактор энтелехии»: понятие целостности применимо только для содержательного описания сущности органических структур и не способно объяснить свойства и характер отношений между ними». Организм должен рассматриваться как динамическая система, и задача «организмической» биологии заключается в нахождении и формулировке законов, которым подчиняются свойства и отношения этих систем<sup>185</sup>.

Сам Берталанфи следующим образом резюмирует суть организмического подхода: это целостный подход к системам вместо аналитически-суммативного подхода, динамическое представление вместо статического и машинного, рассмотрение организма как прежде всего активности, а не реактивности. Эти посылки означают, по его мнению, преодоление противоречий между механицизмом и витализмом, поскольку оба эти учения основаны на аналитическом и машинно-теоретическом подходе. Механицизм не может объяснить основополагающие проблемы жизни, порядка, организации, целостности и регуляции, но и витализм также рассматривает «живой организм как сумму частей и машин, которые просто дополняются и контролируются душеподобным инженером». «Оба эти подхода недостаточны. Машинное представление не работает там, где идет речь о проблеме регуляции и возникновения «машины», а витализм отрекается от

---

<sup>184</sup> Wenzl A. Organismische Theorie als Überwindung des Gegensatzes von Mechanismus und Vitalismus? In: A. Wenzl. Die philosophischen Grenzfragen der modernen Naturwissenschaft. Stuttgart: Kohlhammer, 1960, S. 157–165.

<sup>185</sup> Grochla E. Указ. соч., S. 125–126.

естественнонаучного объяснения». Организмический же подход признает необходимость и возможность комбинирования глубокого и последовательного анализа, определяющего отдельные компоненты, с выявлением организационных закономерностей, в соответствии с которыми эти части и частичные процессы объединяются в единое целое. «В нахождении этих системных и организационных законов видит организмический подход существенную и собственную задачу биологии». Причем этот биологический порядок является специфическим и выходит за пределы закономерностей, действующих в сфере неживого <sup>186</sup>.

Позднее Берталанфи сформулировал теорию открытых систем (систем, которые обмениваются с окружающей средой энергией и материей), объясняющую процессы роста, приспособления, регуляции и вопросы равновесия биологических систем и ставшую основой его общей теории систем <sup>187</sup>, — исходного пункта системного движения во многих областях современной науки и техники. «Концепция теории систем тесно связана с идеей целостности, истоки которого можно найти еще в античности. С течением времени размышления о целостности потеряли свое значение и впервые лишь в конце XIX в. после долгого господства механицизма можно снова обнаружить переход от механистического к холистическому мышлению. Решающий толчок в сторону обновленной ориентации на целостное рассмотрение исходит от психологии и биологии. Знаменательным для этой новой ориентации научного мышления является то, что идея целостности привлекает все возрастающее внимание многих областей науки...» <sup>188</sup>.

Понимание общей теории систем претерпело некоторую эволюцию в работах Берталанфи. «В 50-е — 60-е годы в своей трактовке «общей теории систем» Берталанфи подчеркивает ее обобщенный характер — она призвана исследовать принципы, относящиеся к системам вообще. На этой основе в 1962 г. он различал «общую теорию систем» в широком смысле, куда входят кибернетика, теория информации, теория игр, теория решений, топология, факторный анализ и т. д., и «общую теорию систем» в узком смысле, пытающуюся вывести из общего определения системы как комплекса взаимодействующих элементов понятия, характерные для организованных целых (взаимодействие, механизация, централизация, конкуренция, эквивалентность и др.) и применяющую их к анализу конкретных явлений. ... Развивая эту тенденцию в истолковании смысла «общей теории систем», Берталанфи в своих работах конца 60-х — начала 70-х годов говорит о некоторой единой системной науке (Systems Science), выступающей в сфере прикладных исследований в форме системного подхода (Systems Approach), а в теоретической сфере в виде общей теории систем (General Systems Theory)» <sup>189</sup>.

---

<sup>186</sup> Von Bertalanffy L. Das biologische Weltbild. Bd. 1. Die Stellung des Leben in Natur und Wissenschaft. Bern: A. Francke AG. Verlag, 1949, S. 30–31.

<sup>187</sup> Берталанфи Л. Общая теория систем — критический обзор. В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969.

<sup>188</sup> Fuchs H. Systemtheorie. In: Organisation als System. Wiesbaden: Gabler, 1972, S. 47.

<sup>189</sup> Садовский В. Н. Основания общей теории систем. М.: Наука, 1974, с. 21–22.

С механистической точки зрения организм рассматривался как машина. Для Декарта, например, поведение и строение животного аналогичны функционированию сложной машины. Отсюда возникают такие выражения, как «конструкция организма», «механизм поведения» и др. Физиологи придерживались следующего мнения: «Животные представляют собой ничто иное, как неодушевленные автоматы; все процессы, которые совершаются в них, принадлежат к тому типу, который мы уже знаем из опыта с (например) насосами, рычагами, огнем и паром. Таким образом, мы можем построить полную физиологию животного без того, чтобы было нужно выходить за пределы сферы чисто механических факторов»<sup>190</sup>. С точки зрения этой модели человек в принципе отличается от животного только тем, что обладает сознанием. Однако человек и животное представляют собой машину, намного более сложную, чем существовавшие тогда механизмы. Такого взгляда придерживался, например, Жюльен де Ламетри, опубликовавший в 1747 г. книгу «Человек-машина». «Хотя название произведения указывает на механистический подход к проблеме человека, по своей сути взгляды Ламетри были далеки от понимания человека лишь механистически. Человек, согласно Ламетри, существенно отличается от механических устройств, так как он машина особого рода, способная чувствовать, мыслить, отличать добро от зла. Человеческое тело — это заводящая самого себя машина, живое олицетворение непрерывного движения. Человек — это часовой механизм, который заводится не механическим способом, а посредством поступления в кровь питательного сока, образующегося из пищи. Таким образом, «человек-машина» для Ламетри — это «человек-животное», являющееся единым материальным существом органического мира»<sup>191</sup>. Ламетри утверждал: «Человек создан не из какой-то более драгоценной глины, чем животные. Природа употребила одно и то же тесто как для него, так и для других, разнообразя только дрожжи. Отсюда следует, что и животные, которые созданы из той же материи и которым, может быть, недостает только немного закваски, чтобы во всех отношениях сравняться с человеком, должны обладать всеми свойствами, присущими миру животных организмов ... душа является только движущим началом или чувствующей материальной частью мозга, которую можно считать главным элементом всей нашей машины, оказывающим заметное влияние на все остальные ... человеческое тело представляет собой часовой механизм, но огромных размеров и построенный с таким искусством и изощренностью, что если остановится колесо, при помощи которого в нем отмечаются секунды, то колесо, обозначающее минуты, будет продолжать вращаться и идти как ни в чем не бывало. Точно таким же образом засорения нескольких сосудов недостаточно для того, чтобы уничтожить и прекратить действие рычага всех движений, находящегося в сердце, которое является рабочей

<sup>190</sup> *Toulmin S., Goodfield J. Materie und Leben. München: Wilhelm Goldmann Verlag, 1970, S. 342.*

<sup>191</sup> *Блинников Л. В. Краткий словарь философов. М.: Наука, 1994, с. 138.*

частью человеческой машины; человек походит на животных как по своему происхождению, так и по всему тому, что мы сочли существенным при их сравнении. Итак, мы должны сделать смелый вывод, что человек является машиной ...»<sup>192</sup>. Но и человек, и животное наделены чувствами, поэтому они не могут восприниматься просто как машины. «Сравнительная анатомия показывает, что человек и животное имеют одинаковые части тела, выполняющие одинаковые функции: в обоих случаях перед нами одно и то же зрелище, одна и та же деятельность. Внутренние чувства так же присущи животным, как и внешние; следовательно, они так же, как и мы, наделены всеми зависящими от этих чувств духовными способностями, а именно: восприятием, памятью, воображением, способностью суждения, рассудком, всем тем, что относится к этим чувствам. Отсюда следует вывод, основанный как на теории, так и на практических наблюдениях над действиями животных: животные имеют душу, порожденную теми же сочетаниями, что и наша душа, но совершенно отличную от нее. Нет ничего истиннее этого парадокса»<sup>193</sup>.

Декарт же считал, что в отличие от животного люди обладают нематериальной душой. Это разграничение обусловило выработку единого подхода к исследованию физиологии человека и животного в механистической физиологии. «Физиологи могли изучать человека и других животных одними и теми же методами, хотя ментальная сторона человека оставалась за пределами физиологической реальности». Дарвиновская теория естественного отбора была по сути механистическим объяснением, распространившим модель выживания и конкуренции раннекапиталистического хозяйственного механизма на животный мир. И хотя эта теория сначала не получила широкого признания у современников Дарвина, постепенно она становится общепринятой среди биологов. «Хотя было и еще остается несогласие по поводу того, насколько постепенным является эволюционный процесс, теория эволюции общего потомства делает в высокой степени маловероятным, что человек и только человек имеет душу». Таким образом, картезианский дуализм души и тела перестал быть жизнеспособной гипотезой после 1859 г., т. е. после публикации дарвиновского труда «Происхождение видов». Однако проблема разграничения человека и животных превращается в другую, не менее сложную проблему разграничения живых существ и неживой материей. Именно виталисты пытаются решить эту проблему, утверждая, что живые существа отличаются от неживой материи наличием у них в дополнение к материальному телу нематериальной «живой силы» или «жизненного принципа». Это, в известном смысле, придает «картезианскую душу всем живым существам». Однако витализм 20-х гг. был явно ненаучным, поэтому ни один биолог не хотел, чтобы его считали приверженцем этого течения. «Хотя витализм и устранил конфликт между

---

<sup>192</sup> *Оффре Жюльен Ламетри*. Соч. М.: Мысль, 1983, с. 201, 215, 219, 221, 226.

<sup>193</sup> Там же, с. 383–384.

дарвиновской гипотезой эволюции наследования, возникли другие серьезные концептуальные проблемы». Картезианский дуализм пытается установить взаимодействие между материальной и нематериальной субстанциями, хотя никогда не проясняет, как такого рода взаимодействие должно осуществляться. Витализм, или теория «жизненных сил», просто повторяет и усугубляет эту дилемму<sup>194</sup>.

Использование механических свойств и способов функционирования машины для объяснения живого организма независимо от оценки продуктивности этой исследовательской программы имело следствием сравнительный анализ организма и машины, который оказался впоследствии весьма продуктивным для развития машинной техники. Первый философ техники Эрнст Капп развил теорию органопроекции, согласно которой человек неосознанно переносит на создаваемые им артефакты функции своих органов, скажем, прообразом молотка является кулак, а локомотив в более общем виде — функционирование живого организма.

Одно из таких сопоставлений организма и механизма содержится в книге П.К. Энгельмейера «Теория творчества» (1910). Автор, правда, предупреждает, что такое сравнение нужно делать весьма осторожно, не доводя его до «чистых парадоксов» и основываясь на подробном изучении и организма, и машины. Таким образом, здесь использование аналогий между механизмом и организмом уже перестает быть «улицей с односторонним движением».

Энгельмейер приводит таблицу сравнения биологических и технических аналогий<sup>195</sup>:

организм имеет органы, машина — составные части или химические соединения, отдельный предмет из целого способа производства,
• организм обладает функциями, а изобретение — техническим (или иным) эффектом,
особь организма соответствует экземпляру изобретения,
порода — конструкции изобретения,
вид — системе, т. е. схеме вещественного изобретения или плану способа производства,
род — принципу,
родственное наследование — подражанию, копированию,
поколение — историческому ряду развития какого-либо изобретения,
морфологическое сходство у организма — изоморфизму у механизма,
функциональное сходство — эквивалентности,
вариация — изобретению и вообще всякому видоизменению механизма,
зарождение особи аналогично изготовлению изделия в мастерской,
зарождение породы, вида, рода у организма — изобретению, распространяющемуся на конструкцию, систему, принцип,
жизнь особи означает для механизма применение на практике изобретения в данном экземпляре,

<sup>194</sup> *Brandon R. Concepts and Methods in Evolutionary Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996, p. 183–184.

<sup>195</sup> *Энгельмейер П.К. Теория творчества*. СПб.: Образование, 1910, с. 182–183.



жизнь породы, вида, рода – применение на практике данной конструкции, системы, идеи (принципа),  
изменение условий жизни организма может интерпретироваться для механизма как изоморфное применение изобретения к другой работе,  
приспособление организма означает для механизма его усовершенствование,  
борьба за существование – конкуренцию,  
симбиоз – сотрудничество, разделение работы,  
миметизм – подделку,  
отбор – это результат испытания изобретения на деле,  
болезнь организма аналогична частичной порче механизма,  
лечение – ремонт,  
смерть особи – окончательной порче механизма в одном экземпляре,  
вымирание породы, вида, рода у механизмов означает выход из употребления изобретения как конструкции, как системы и как принципа.

Такого рода сравнения привели к тому, что некоторые свойства организмов были спроецированы на машины, и стали говорить о природе машины, памяти компьютера, самообучающихся роботах, эволюции технических изобретений по типу естественного отбора и т. п. Это стимулировало многие продуктивные технические решения и разработки, развитие системной картины мира и кибернетических представлений на основе обобщения не только физических и технических, но и биологических моделей действительности.

Сначала подчеркиваются различия организма и машины:

- ♦ действия машины определяются ее структурой, а у организма, наоборот, организационная структура определяется динамическим процессом<sup>196</sup>:
  - органические структуры сами являются выражением упорядоченных процессов и существуют именно благодаря им, поэтому первичный порядок органического находится только в самом процессе, а не в предзаданных структурах;
  - принцип целостности – структура организма должна рассматриваться не статически, а динамически;
  - способность постоянно обновлять свои компоненты, снова и снова приводить их в движение и при этом сохранять интеграцию системы в целом;
  - машины имеют точное и заранее определенное число и тип деталей, а организм – гибкость, у него нет органов, которые имели бы одинаковые части (несовместимость при пересадке органов);
  - машина состоит из постоянных частей, а организм находится в процессе постоянного изменения, распада и перестройки (восстановления);
  - машины строятся, организмы растут;
  - машины функционируют по линейной схеме, «по плану», функционирование организма – нелинейное, циклическое;
  - с помощью процессов обучения, развития и эволюции организмы способны творчески расширять свои физические и духовные границы;

---

<sup>196</sup> Capra F. Wendezeit. Bausteine für ein neues Weltbild. Berlin, München, Wien & Scherz, 1983, S. 296–297.

♦ искусственные системы относительно изолированы, живые организмы — открытые системы, т. е. должны в течение длительного времени обмениваться энергией и информацией с окружающей средой <sup>197</sup>:

- понятие открытой системы: организм является не закрытой, а открытой системой, т. е. в него импортируется и из него экспортируется материя; организм не является статической системой, которая закрыта для внешних влияний и всегда имеет постоянные компоненты; для открытой системы характерны постоянное изменение ее отношений и компонентов, постоянный обмен материей и энергией с окружающей средой (метаболизм в физиологии); эквивалентность — одно и то же конечное состояние (или «цель») может быть достигнуто, исходя из различных начальных условий, разными путями; динамическое равновесие: закрытые системы должны находиться независимо от времени в состоянии равновесия, определяемом максимумом энтропии и минимумом свободной энергии, в то время как открытые системы получают состояние динамического равновесия, остающегося независимо от времени постоянным для системы в целом посредством постоянного изменения их компонентов и протекающего через них материального потока; адаптация и приспособляемость к окружающей среде: «мы обнаруживаем во всех явлениях жизни возможность регуляции, возобновления после помех. Дриш подчеркивает, что такие процессы, как, например, регуляция развития зародыша, для машины были бы невозможны», организмы — это не машины, но они до определенной степени могут становиться машинами (действовать как машины), но никогда полностью не идентичны им, иначе они не могли бы приспосабливаться к постоянно изменяющимся требованиям внешнего мира <sup>198</sup>.

Норберт Винер, развивая кибернетический подход, имел в виду общность процессов регулирования и информационного обмена и у животных, и у машин. Он считал, что автоматы, как и организмы, взаимодействуют с окружающей средой — могут принимать и запоминать внешние образы (имеют органы восприятия, датчики и эквивалент нервной системы) и соответственно им действовать в этой среде, даже корректировать свою деятельность. Поэтому они могут быть хорошо описаны с помощью физиологических представлений и объединены с механизмами физиологии в одну общую теорию. Эта теория (кибернетика Норберта Винера) пытается показать, что механизм природы обратной связи является основой телеологичности или целенаправленного поведения как в созданной человеком машине, так и в живом организме и в социальной системе. Берталанфи возражает, что в данном случае технические системы являются открытыми для обмена информацией, а не энергией и материей, как органические системы <sup>199</sup>.

---

<sup>197</sup> Von Bertalanffy L. Das biologische Weltbild. Bd. 1. Die Stellung des Leben in Natur und Wissenschaft. Bern: A. Francke AG. Verlag, 1949; Von Bertalanffy L. Zu einer allgemeinen Systemlehre. In: *Biologia Generalis*, 1949, № 1, S. 114–129; Von Bertalanffy L. *General Systems Theory. Foundation, Development, Applications*. N.Y.: George Braziller, 1969.

<sup>198</sup> Von Bertalanffy L. Das biologische Weltbild. Bd. 1. Die Stellung des Leben in Natur und Wissenschaft. Bern: A. Francke AG. Verlag, 1949, S. 28.

<sup>199</sup> Фактически в этом случае речь идет о соотношении кибернетики и общей теории систем. Об этом см., например: Гаазе-Раннопорт М.Г. Кибернетика и теория

Говоря о близости и общности идей кибернетики и общей теории систем, Берталанфи подчеркивает и их различие. «При различии исходных областей (техника, а не фундаментальные науки, в частности биология) и базисных моделей (контур обратной связи вместо динамической системы взаимодействий) у кибернетики и общей теории систем общим оказался интерес к проблемам организации и телеологического поведения. ... Следует, однако, указать, что при всей этой общности ... Общая теория систем не является результатом военных и технических разработок. Кибернетика и связанные с ней подходы развивались совершенно независимо, хотя во многом параллельно сходств этих дисциплин: в одинаковой степени для них характерны междисциплинарность и методологическая направленность; и в кибернетике, и в системном подходе исследователь первоначально абстрагируется от внутренних свойств системы, анализируя только ее внешние связи (принцип «черного ящика»); иерархическое рассмотрение систем, которое дополняется описанием элементов, «кирпичиков», составляющих систему, и связей между ними, также является руководящим принципом обеих дисциплин; отвлечение от вещественного субстрата материальных процессов и рассмотрение их функциональных зависимостей — одно из основных требований и кибернетики, и системного подхода. Однако нельзя полностью отождествлять эти дисциплины, поскольку предметом исследования кибернетики являются системы управления, а предметом исследования теории общих систем — любые системы; кибернетика рассматривает информационные аспекты систем, а теория общих систем — любые аспекты и срезы систем. В то же время следует отметить тенденцию к постепенной интеграции этих двух научных направлений. Кибернетика изучает общее в процессах управления машинами, человеческой деятельностью и живыми организмами. Эти процессы рассматриваются в кибернетике в аспекте машинизированного преобразования, создания машин, сложных автоматических устройств.

В конечном счете некоторые характеристики живых систем проецируются на технические системы и служат прообразом новых типов таких систем<sup>201</sup>:

- живые системы — это саморегулирующиеся системы и системы с адаптацией, что соответствует явлению гомеостаза в сложных

---

систем // Системные исследования. Ежегодник 1973. М.: Наука, 1973; Klir G. On the Relation Between Cybernetics and General Systems Theory. In: Progress of Cybernetics. Ed. By J. Rose. L.: Gordon & Breach, 1970. Vol. 1.

<sup>200</sup> Фон Берталанфи Л. История и статус общей теории систем // Системные исследования. Ежегодник 1973. М.: Наука, 1973, с. 26.

<sup>201</sup> Эти характеристики биологических систем переносятся в кибернетике даже на функционирование социальных систем управления: Beer S. The Cybernetic Cytoblast: Management itself. In: Progress of Cybernetics. Ed. By J. Rose. L.: Gordon & Breach, 1970. Vol. 1; Brix V. H. Cybernetics and Social Structure. In: Progress of Cybernetics. Ed. By J. Rose. L.: Gordon & Breach, 1970. Vol. 3.

технических системах<sup>202</sup> (как достижение баланса в живом организме) и имеет прототипом терморегуляцию у теплокровных животных;

- самоорганизация живых систем переносится как образец на сложные технические системы — система организует саму себя в процессе прогрессивной дифференциации, эволюционируя от состояния простой системы к состоянию более высокого уровня сложности;

- способность к обучаемости живых систем становится основой для создания обучающихся автоматов, а позднее сложных вычислительных комплексов и систем с искусственным интеллектом<sup>203</sup> (речь идет, например, о моделировании информационных процессов в мозгу, анализе нейронных сетей, психологических механизмов работы мозга и создании на этой основе вычислительных систем и программ, экспертных систем, развитии инженерии знаний, т. е. представления знаний для компьютерных систем, и т. д.)<sup>204</sup>;

- моделирование поведения живых систем становится основой для создания прототипов новых технических систем, например в технической биологии и бионике<sup>205</sup>;

- наконец, использование эволюционной модели для объяснения развития технических систем и изобретений.

В последнем случае эволюционная теория рассматривается как объяснительная модель, которая хотя и создана для объяснения естественного отбора в мире органической природы, но в обобщенной форме применима для объяснения любых процессов. В данном случае дарвиновская теория естественного отбора является лишь одной из возможных форм эволюционного объяснения, эвристической исследовательской программой для биологии. В истории науки существовали и другие эволюционные теории<sup>206</sup>. В настоящее время предпринимаются также попытки предельно абстрактно описать теорию эволюции<sup>207</sup>. Такое обобщенное ее рассмотрение создаст условия

---

<sup>202</sup> См.: Эшби У. Росс. Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. М.: Изд-во иностранной литературы, 1962.

<sup>203</sup> Fruchter R., Gluck J. Adaptive Multilevel Connections in a Training Learning System for Structural Analysis. In: Artificial Intelligence in Design. Ed. By J.S. Gero. Berlin, Springer/Verlag, 1989, p. 209–227.

<sup>204</sup> См., например: Boden M.A. Artificial Intelligence and Natural Man. L.: The MIT Press, 1987; Philosophy and AI. Ed. By R. Cummins and J. Pollock. Cambridge, Massachusetts, London, England: The MIT Press, 1991; J.F. Sowa. Conceptual Structures. Informational Processing in Mind and Machine. L., Sydney u.a.: Addison-Wesley Publishing Company, 1984.

<sup>205</sup> Didday R.L. A Structural Computer Model of the Frog's Optic Tectum. In: Progress of Cybernetics. Ed. By J. Rose. L.: Gordon & Breach, 1970. Vol. 2; W. Nachtigall. Technical Biology and Bionics — Design Strategies from the Nature. In: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop, Karlsruhe, Germany, May 1998. Ed. By Grabowski, S. Ryde, G. Grein. Aachen: Shaker Verlag, 1998.

<sup>206</sup> Подробнее см.: Von Stokhausen A. Mythos–Logos–Evolution: dialekt. Verknüpfung von Geist und Materie. Neuhausen-Stuttgart: Hanssler, 1981.

<sup>207</sup> См., например: Brandon R. Concepts and Methods in Evolutionary Biology. Cambridge: Cambridge University Press, 1996.

для применения той же эволюционной объяснительной схемы как в сфере техники, так и в области физических систем.

Например, по мнению Энгельмейера, биология значительно опередила технологию с точки зрения систематичности, поэтому попытка приложить дарвинизм к эволюции изобретений может быть весьма продуктивной. Однако здесь речь идет не о том, чтобы провести аналогию между механизмом и организмом, а об использовании дарвиновской методологической схемы для исследования механизма появления и отбора старых и новых изобретений. П.К. Энгельмейер считает, что дарвиновская теория отбора может быть использована для анализа эволюции техники. Доисторические орудия были созданы как продолжение рук и ног человека и были созданы неосознанно. Затем важную роль в создании и дифференциации орудий сыграло расширение сфер применения. Но как только изобретение стало результатом творчества и налачился выпуск промышленных образцов, началась борьба за существование: «с одной стороны, нововведение должно отвечать и приспосабливаться к требованиям практики, с другой — оно вступает в единоборство с однородными конкурирующими вещами». Первое условие аналогично естественному отбору, второе — борьбе видов за существование. Вначале любое нововведение вызывает недоверие у публики. Кроме того, всегда имеется не одно техническое изобретение, а множество изобретений, конкурирующих между собой. «Разумеется, говоря о борьбе изобретений между собой, мы не забываем, что борются не сами изобретения, а люди, заинтересованные в их успехе»<sup>208</sup>. Природа варьирует, а человек изобретает. В обоих случаях достигается целесообразность, но разными путями: изобретатель заранее ставит себе цели и стремится их достичь; природа же не преследует никаких целей; природа имеет в своем распоряжении безграничные время и средства — человек ограничен и в том и в другом, поэтому ему и необходима техника, как «искусство сберегать затраченный труд и увеличивать получаемый результат». Однако, по сути дела, человеческое творчество лишь продолжает творчество природы. Новая целесообразная вариация в природе является результатом огромного количества вариаций, из которых выживают только наиболее приспособленные. Изобретатель фактически делает то же — только в виде мыслительных опытов (чаще всего неосознанно). «И сама собою напрашивается такая картина мироздания. Природа одна. Она начинается в царстве минералов и оканчивается в духе гения. Явления совершаются не как-нибудь, но в известной гармонии, и эта гармония называется жизнью природы. Явления живут, развиваются и прогрессируют. И оказывается, что явления продолжают свое развитие в душе гения, но уже, конечно, не в конкретной форме, а в форме отражений, часто осознаваемых, но очень часто и не осознаваемых духом — носителем их»<sup>209</sup>. Это обуславливает следующий этап — перенесение эволюционных представлений из биологии в сферу физических систем.

Не только отдельные физические системы, но и мир в целом (Вселенная) стал рассматриваться:

- *как органическое целое;*

понятие органического целого возникло из подчеркивания необходимости целостного рассмотрения организма и взаимосвязанности живых существ в процессе их эволюции. «Не только части целого, например части организма, взаимосвязаны между собой таким образом,

---

<sup>208</sup> Энгельмейер П.К. Технический итог XIX века. М.: Тип. К.А. Казначеева, 1898, с. 92.

<sup>209</sup> Энгельмейер П.К. Теория творчества. СПб.: Образование, 1910, с. 184, 185–186.

что изучение частей изолированно является нерелевантным для живого, но также и организмы являются связанными со своей средней таким образом, что их отделение от нее невозможно». Исходный тезис холизма в биологии как раз и заключался в том, что «части целого взаимосвязаны таким образом, что они не могут быть изучены в изоляции — по крайней мере, не могут, если кто-либо хочет знать, как они ведут себя в целом»<sup>210</sup>. Эта методологическая установка со временем стала использоваться применительно и к объектам неживой природы, в первую очередь, в рамках квантовой теории.

Наиболее яркий пример такой внутренней взаимосвязанности частей в целом — широко известный ЭПР-парадокс (Эйнштейна–Подольского–Розена), который демонстрирует принципиальную целостность квантового явления, «скоррелированность поведения частиц, составляющих изначально единую систему и разошедшихся с течением времени на сколь угодно большое расстояние. Одно из парадоксальных следствий — это нелокальность такой системы. Частицы в ЭПР-эксперименте могут разойтись сколь угодно далеко, хоть на противоположные концы Вселенной, когда между ними не будет уже никакого «классического» взаимодействия. Тем не менее измерение, произведенное «здесь» и «сейчас», тотчас создает однозначно определенную ситуацию «там», куда в строгом соответствии с теорией относительности передача сигнала мгновенным образом невозможна»<sup>211</sup>.

Давид Бом подчеркивает, что хотя человек во все времена считал целесообразным и даже необходимым разделять и изолировать в своем мышлении изучаемые им вещи, он пытается охватить реальность в ее целостности. Способ осмысливать объекты окружающего человека мира, мысленно разделяя их на части, является характерной чертой прежде всего практического, технического вида деятельности (например, разделение земельных участков на отдельные поля, на которых предполагается вырастить разные растения). Со временем такой способ мышления стал использоваться применительно к миру в целом, при котором создавалась особая картина мира, и стал отождествляться с самой реальностью, а позднее был перенесен и в науку. Такую картину мира Бом называет фрагментарной, а способ рассмотрения действительности по частям — фрагментацией. Иногда высказывается мнение, что именно фрагментация является реальностью, (например, разделение на города, религии, политические системы и т. п.), а целостность существует лишь как идеал, к которому надо стремиться. Сам же Бом придерживается противоположного взгляда, утверждая, что именно целостность мира — это реальность, а фрагментарность задана лишь фрагментарным восприятием человека этой реальности.

Общей мыслительной схемой физики до сих пор была именно фрагментация. Мир же, по Бому, — это неразложимое целое, некая тотальность, в которой части могут быть выделены нашим мышлением лишь условно и упрощенно. С точки зрения механистического порядка вещей, рассматриваемого ранее (и до сих пор в физике) как порядок универсума, мир воспринимается как составленный из явлений, которые находятся вне друг друга, независимо друг от друга в различных срезах пространства и времени, но интегрированы друг с другом с помощью сил, не вносящих в них существенных изменений, и взаимодействуют как таковые друг с другом. Согласно этому представлению мир представляет собой «машину» и состоит из множества существующих отдельно,

<sup>210</sup> *Brandon R.* Указ. соч., р. 184, 185.

<sup>211</sup> *Севальников А. Ю.* Современные онтологические модели квантовой механики: философский анализ: Автореферат. М.: ИФРАН, 1997, с. 8.

неизменных и неделимых элементарных частиц, которые являются строительными блоками универсума. «В противоположность этому в живом организме, например, каждая часть растет во взаимосвязи с целым, так что не может идти и речи о независимом существовании, ни о простом взаимодействии с другими частями...» Теория относительности и квантовая механика поколебали незыблемость механистического порядка, и мир, считает Бом, следует рассматривать скорее в соответствии с представлениями Аристотеля — как организм, органическое целое. Нелинейность уравнений «общей теории поля», постулированная Эйнштейном, и рассмотрение в качестве модели «частиц» импульсов обусловило такого рода «организмическое» рассмотрение в физике. «Два импульса соподчиненной полевой структуры спаиваются в едином неразбиваемом целом и протекают совместно. Такое представление в лучшем случае характеризует идею отдельных и независимо существующих частиц абстракцией, только в ограниченной области дающей удовлетворительное приближение. В конечном счете весь универсум (со всеми его «частицами», включая те, что люди получили в своих лабораториях с помощью своих инструментов), должен быть понят как единственное нерасчлененное целое, в котором анализ по отдельным и независимым частям не получит никакого основополагающего значения. ... Весь универсум должен рассматриваться как неразбиваемое целое. В этом целом каждый элемент, который мы можем мысленно абстрагировать, демонстрирует свои основные свойства (волны или частицы и т. д.), которые зависят определенным образом от его общего поля так, что они в большей мере напоминают соединенные вместе органы живого существа, чем интегрированные вместе части машины». Для иллюстрации этого Бом сравнивает мир с голограммой, каждая часть которой содержит информацию о целом объекте<sup>212</sup>;

• *как динамический процесс;*

физические системы и физический мир в целом представляют собой не только органическое целое, но и никогда не прекращающийся динамический процесс. Природа реальности должна быть понята как взаимосвязанное целое, которое никогда не является статическим или завершенным и представляет собой бесконечный процесс движения и развертывания»<sup>213</sup>. Бом использует в данном случае образ «нерасчлененного целого в текучем движении», «универсального текучего потока», который можно представить лишь имплицитно и субстанция которого в каком-либо одном месте никогда не является одной и той же, т. е. процесс становления. «Современная физика утверждает, что действительно из атомов образуются потоки (подобно тому, как течет вода)...» Сами дух и материя становятся лишь различными аспектами единого целостного и неразложимого на части движения, хотя в этом, всегда находящемся в текучем движении и нерасчленяемом целом могут быть абстрагированы различные фигуры, имеющие некоторую стабильность и автономию<sup>214</sup>;

• *как самоорганизующаяся система (использование кибернетических принципов, заимствованных из биологии и обобщенных в кибернетике, применительно к миру неживой природы);*

---

<sup>212</sup> Bohm D. Die implizite Ordnung. Grundlagen eines dynamischen Holismus. München: Dianus-Trikont Buchverlag GmbH, 1985, S. 20–31, 226–231.

<sup>213</sup> Там же, S. 9.

<sup>214</sup> Там же, S. 31–32, 77–78.

Герман Хакен в предисловии к своей знаменитой книге «Синергетика»<sup>215</sup> пишет, что именно объяснение чрезвычайно сложных биологических явлений, например эволюции и возникновения жизни, порождает вопрос, можно ли обнаружить процессы самоорганизации в гораздо более простых системах неживой природы. В последнее время обнаружено множество физических и химических систем, в которых отчетливо прослеживаются процессы, сходные с процессами в живых организмах «при переходе от неупорядоченного к упорядоченному состоянию». В противоположность машинам, которые сконструированы человеком для выполнения специальных функций, «эти структуры развиваются спонтанно — они самоорганизуются», причем функционирование таких систем подчиняется одним и тем же основополагающим принципам, независимо от того, относятся ли они к области физики, химии, биологии и даже социологии. Именно эти основополагающие принципы и являются предметом новой науки — синергетики, создателем которой был Г. Хакен.

Говоря об основополагающих идеях этой науки, Хакен приводит стандартные для этой области науки примеры — подогреваемая снизу жидкость и лазерный источник света. Поскольку процессы, происходящие в них, с точки зрения синергетики в принципе совершенно аналогичны, рассмотрим лишь первый из них (лазер — технический прибор, нам же важно продемонстрировать трансляцию объяснительных схем из биологии в физику). Если подогреть в прямоугольном сосуде снизу какую-либо жидкость, например силиконовое масло, то при критической температурной разнице между верхней и нижней поверхностями в ней спонтанно образуются вращающиеся цилиндры, по которым жидкость в одних местах поднимается, а в других опускается. Если температурная разница небольшая, то жидкость остается в покое; поскольку подъемной силы недостаточно, чтобы преодолеть внутреннее сопротивление жидкости. Если разница температур достаточно велика<sup>216</sup>, то преобладает подъемная сила, и образуется состояние неустойчивого равновесия. Отдельные подогретые частицы жидкости устремляются вверх и вытесняют еще холодные частицы жидкости, заставляя их опускаться вниз. Здесь налицо процессы, аналогичные самоорганизации в живой природе. На поверхности появляется специфический узор, а в самой жидкости образуются вертикальные цилиндрические конфигурации для лучшей транспортировки теплоты снизу вверх. «При этом оказывается, что при определенной цилиндрической конфигурации теплота может транспортироваться лучшим образом. Скорость этих цилиндров возрастает со временем. При других цилиндрических фигурах эти отношения не настолько благоприятны; или цилиндры растут медленнее, или они умирают, если и возникли к жизни однажды, после короткого промежутка времени. Между растущими цилиндрами происходит конкурентная борьба. Те цилиндры, которые растут быстрее всего, выигрывают, другие же подавляются. Здесь имеет место, таким образом, своего рода дарвинизм уже в неживой природе».

В более общем виде мы имеем сначала при определенных контрольных внешних условиях некоторую систему в определенном состоянии (например, жидкость в состоянии покоя). Если изменить значение контрольного параметра (например, разницу температур), то старое состояние может стать неустойчивым и должно уступить место новому состоянию, которое имеет более высокую степень порядка, т. е. более сильно

---

<sup>215</sup> Haken H. *Synergetik*. Eine Einführung. Berlin: Springer-Verlag, 1982.

<sup>216</sup> Мерка, при которой, например, в данном случае в жидкости, образуется упорядоченное состояние, Хакен называет параметром порядка.



структурировано, чем предыдущее. При переходе системы из одного состояния в другое проявляются весьма характерные феномены: система сама проверяет формы движения, находящиеся в состоянии конкуренции, причем применительно к жидкости одна из форм движения растет быстрее других, выигрывает состязание и тем самым развивает параметр порядка, который теперь уже со своей стороны заставляет всю жидкость втиснуться в определенное русло и гарантирует тем самым соответствующую структуру<sup>217</sup>.

*как эволюционирующая система — глобальный эволюционизм;*  
одной из главных особенностей современной теории динамических систем является то, что в ней учитываются эволюционные процессы, вводится фактор направления времени. Динамика развития таких систем представлена не одной траекторией, а набором возможных траекторий развития, лишь одна из которых реализуется. «Эта новая формулировка динамики вносит решающее изменение в концепцию «закона природы». Он не выражается больше понятием «достоверности», а понятием «возможности»... Как динамический мир — бастион вневременного геометрического описания, которое доминирует в «жесткой» науке<sup>218</sup>, — так и исторический мир человеческих дел теперь подчинены общему эволюционному воззрению». Такие воззрения проникают и в современную космологию, способствуя развитию универсального эволюционизма, изучению самоорганизующейся Вселенной, введению исторически-эволюционного аспекта в космологические представления. «Современная космология приписывает нашему универсуму возраст: он возник 15 миллиардов лет назад из «первородного взрыва»... представление о «рождении» универсума, до тех пор бывшее лишь математической спекуляцией, стало физической реальностью».

Согласно так называемой стандартной модели происхождения Вселенной универсум возник из точки, в которой бесконечно тесно были связаны вместе материя и энергия, а сегодняшние физические законы в этом состоянии не действовали. Здесь сразу же возникает вопрос о вечности этих физических законов или их эволюции вместе со всем универсумом, что в классической физике в принципе не обсуждалось. Стандартная модель предсказывает также прекращение существования универсума в результате либо постоянного расширения (тепловая смерть Вселенной в соответствии с законами термодинамики), либо новой катастрофы — снова сжатия его в точку. Впрочем, это предсказание верно, если рассматривать универсум как закрытую систему, но в современной теории динамических систем он рассматривается как открытая система, в которой второй закон термодинамики не выполняется. Однако повторение нестабильностей в такой системе вполне возможно. «Независимо от всех трудностей эта программа заслуживает того, чтобы ее развивать и далее. Конечной целью могла бы быть «дарвиновская теория» элементарных частиц: частицы, которые появились при первородном взрыве, были теми, что обладали наибольшей скоростью производительности». С точки зрения детерминистической трактовки со времени первородного взрыва все было точно предопределено. Однако с современной вероятностной точки зрения законы природы

---

<sup>217</sup> Haken H, Haken & Krell M. Erfolgsgeheimnisse der Wahrnehmung. Synergetik als Schlüssel zum Gehirn. Stuttgart & Deutsche Verlag-Anstalt; 1992, S. 16, 23–24.

<sup>218</sup> О понятии «жесткой» и «гибкой» науки см. следующий раздел.

связаны с реализацией определенных возможностей. «Мы говорим о картине раннего универсума, который похож на ребенка. Делая первые шаги в жизни, он еще может стать музыкантом, адвокатом или врачом, но не всеми ими одновременно. Нам просто повезло, что развитие универсума привело к появлению жизни на земле и, в конечном счете, человека»<sup>219</sup>.

Для объяснения сложных динамических и развивающихся систем Пригожин вводит понятие «аттрактора», обозначающее состояние или соотношение, на которое направлено развитие сложной системы. В качестве примера он приводит маятник как важнейший идеальный объект классической физики. Идеальный маятник не обладает трением и, следовательно, не может обладать никаким аттрактором, он продолжает свои колебания бесконечно. Движение реального маятника, по Пригожину, представляет собой диссипативную систему с трением, которая, напротив, когда-либо должна прийти в состояние равновесия и, следовательно, покоя. Равновесное положение маятника и есть аттрактор этой системы. Независимо от начальной скорости и начального положения маятник через некоторое время придет, достигнув равновесного положения, к состоянию покоя.

Аналогичным образом можно рассуждать о состоянии термодинамического равновесия как аттракторе для закрытой системы, которая всегда стремится к состоянию равновесия, описываемого немногими параметрами, например давлением и температурой. По Пригожину, идеальный маятник представляет пример «структурной нестабильности». Без трения нет аттрактора, но даже небольшое трение радикально изменяет способ движения маятника и ведет к аттрактору. Примером такой структурной нестабильности является, по мнению Пригожина, первородный взрыв. «Во всех этих случаях можно представить развитие системы, не обращая внимания на начальные состояния при данных рамочных условиях с помощью траектории, которая ведет от пункта, представляющего начальное состояние, к аттрактору. В этих точках, таким образом, заканчиваются все траектории в данном пространстве. Не только диссипативные системы ведут к одному единственному конечному пункту. Таким образом развиваются далекие от равновесия диссипативные структуры, которые мы называем «химические часы», стремящиеся не к какому-либо одному состоянию, а к стабильным периодическим отношениям. Это означает одновременно расширение понятия аттрактора: аттрактор больше не является точкой, но линией, описывающей периодические изменения химической концентрации в системе. И в этом случае система развивается независимо от начальных условий к этому «граничному циклу»<sup>220</sup>. Таким образом, простое и сложное существуют рядом друг с другом, а не находятся в иерархической зависимости одно от другого. Мы можем представить сложный объект исследования в виде достаточно простой системы, а, казалось бы, простое явление с точки зрения комплексного его исследования представляется весьма сложной системой;

*как сложный объект комплексного исследования;*

в синергетике, например; речь идет об исследовании сложных (нелинейных) систем в биологии, физике и химии, но не для сведения их к считающимся основополагающими физическим явлениям, а для выявления во всех этих разнородных системах общих принципов и структурных закономерностей, а именно принципов самоорганизации.

---

<sup>219</sup>Prigogine I., Stengers I. Das Paradox der Zeit. Zeit, Chaos und Quanten. München, Zürich: Piper, 1993, S. 17, 269, 303, 19.

<sup>220</sup> Там же, S. 101–109.

Например, Илья Пригожин в предисловии к книге «От бытия к становлению. Время и сложность в естественных науках»<sup>221</sup> пишет: «Это представление ведет к объединенной картине, которая позволяет нам многочисленным аспекты наших наблюдений от физики до биологии связать вместе. Но это не означает, что мы эти различные области хотели бы «редуцировать» к одной единственной схеме. Наша цель в большей степени заключается в том, чтобы ясно определить разные уровни и задать условия, которые позволяют нам переходить от одного уровня к другому».

Традиционно считалось, что биология изучает сложные, а физика — сравнительно простые системы. Однако разработанные в последние десятилетия XX в. методы исследования сложного на уровне как молекул, так и биологических систем или даже социальных систем привели к изменению взгляда и на физические системы. Появилась отчетливая тенденция рассматривать последние не как простые, а как сложные системы, системы со сложными отношениями и с точки зрения плюралистического способа рассмотрения. «Мы видим, что одна и та же система может проявляться в совершенно различных аспектах, что в одном случае вызывает в нас впечатление «простоты», а в другом — «сложности» ... Короче говоря, сложное поведение не является больше ограниченным лишь биологией. Оно проникает в физическую науку и оказывается весьма глубоко укоренившимся в законы природы»<sup>222</sup>. В классической физике законы природы описывали универсум как закрытую строгую детерминированную систему без прошлого и будущего, т. е. вневременную систему, не имеющую возникновения и развития.

Такое представление соответствовало взгляду на внешние изменения явлений как на видимость, физические же законы схватывали вечное божественное неизменное бытие. Это поднимало физику на более высокий уровень по сравнению с другими науками в научной иерархии, но одновременно и отделяло ее от этих наук, имеющих историческое, временное измерение, разъединяло различные науки. Классическое понимание природных законов привело к разрыву между универсумом, который описывался как автомат, и человеком с его историей. Рассмотрение физических систем и универсума в целом как открытой системы, управляемой вероятностными законами и развивающейся, имеющей историческое направленное временное измерение, снова объединяет физические, химические и биологические науки, приводит к формулировке новых, по сути дела, системных физических представлений и теорий. «Многие физики уверены в том, что прогресс физики приведет ее к созданию единой теории. Гейзенберг назвал ее «первородное уравнение», а сегодня она многократно обозначается как «теория обо всем» (*Theory of Everything — TOE*)»<sup>223</sup>. Можно считать, что такая теория будет, фактически, одним из видов теории открытых систем.

---

<sup>221</sup> Prigogine I., Stengers I. Указ. соч., S. 14.

<sup>222</sup> Nicolis G., Prigogine I. Die Erforschung des Komplexen. Auf den Weg zu einem neuen Verständnis der Naturwissenschaften. München, Zürich: Piper, 1987, S. 13, 17–20.

<sup>223</sup> Prigogine I., Stengers I. Указ. соч., S. 101–109. Диссипативными Пригожин называет структуры, образующиеся в далеких от равновесия системах, т. е. существующие в условиях диссипации (рассеивания) энергии, описываемой вторым началом термодинамики. Диссипативные структуры образуются из согласованных микроскопических процессов и переходят в равновесное состояние только путем скачка (Печенкин А.А. Взаимодействие физики и химии. М.: Мысль 1986, с. 187–188).

Скажем, так называемый *bootstrap*-подход, связанный с теорией **S**-матриц, также представляет в теории объект исследования как нерасчленяемое целое. В субатомной физике это означает, что субатомные частицы – не отдельные единицы, а связанные друг с другом энергетические структуры в нескончаемом динамическом процессе. Поэтому для его описания и объяснения необходимо, как этого требует *bootstrap*-подход, развиваемый Geoffrey Chew, поэтапное построение целой сети взаимосвязанных моделей. Причем каждая из этих моделей не только связана с другими, но и не является важнее их. Этот подход очень близок к общей теории систем, так как картина мира современной физики также рассматривается как системная картина мира<sup>224</sup>. *Bootstrap* – означает буквально «зашнуровка», т. е. переплетение взаимосвязей: каждая частица содержит в себе другие частицы не в статическом, а в динамическом и вероятностном смысле **S**-матричной теории – они находятся в потенциально связанном состоянии, взаимно воздействуют друг на друга, перекрестно взаимодействуют, в связи с чем каждая часть представляет силы, составляющие структуру целостной системы. Поскольку взаимодействие субатомных частиц является весьма сложным, нельзя быть уверенным, что может быть когда-либо построена полная и последовательная **S**-матрица, но комбинация (мозаика) частично успешных и взаимно пересекающихся моделей, каждая из которых объясняет лишь часть целостной картины взаимодействий и содержит необъясненные параметры, объясняемые предположительно в ряде будущих дополняющих их моделей, вполне возможна. Эта сеть различных существующих и еще не построенных теорий, которая будет охватывать все возрастающую область природных явлений с постоянной увеличивающейся точностью, помогает все лучше понять исследуемое нерасчленяемое целое<sup>225</sup>.

Следует, однако, отметить, что критика механистических представлений и формирование новых идеалов и норм научного исследования приводят к коррекции первоначально упрощенного механического объяснения природных явлений и признанию конструктивности такого подхода в определенных рамках. Например, дарвиновская теория эволюции была ее механистическим объяснением с точки зрения механизма естественного отбора. Одновременно развивается и критика организмических и холистических представлений.

М. Рьюз, например, рассматривая пять основных аргументов биологов-организмистов, считает первые два из них несостоятельными, а остальные не столь доказательными, как это кажется их приверженцам. Перечислим эти аргументы:

биологические явления *уникальны*;

«Считается, что объекты, изучаемые биологами: клетки, организмы, группы, – все уникальны в такой степени, какая неизвестна наукам физическим. Последние, по мнению этих биологов, имеют дело только с повторяющимися, не уникальными явлениями, и поэтому наука, оперирующая биологическими данными, не может быть до конца физико-химической». Однако этот аргумент несостоятелен, поскольку, с одной стороны, с определенной точки зрения все в мире уникально, а с другой стороны, нет причин, в силу которых нельзя и в биологических явлениях абстрагироваться от единичного

<sup>224</sup> См.: Capra F. *Wendezeit. Bausteine für ein neues Weltbild*. Bern, München, Wien: Scherz Verlag, 1983, S. 90–91, 97–99, 100–101, 293–295.

<sup>225</sup> Capra F. *Das Tao der Physik. Die Konvergenz von westlicher Wissenschaft und östlicher Philosophie*. Bern, München, Wien: Scherz Verlag, 1984, S. 286–320). Критику воззрений Ф. Капра см. в: Audretsch J., Stöckler M. *Fritjof Capra, New Age und die wirkliche Physik*. In: *Civis*, 1989, № 1, S. 32–39.

и рассматривать их не уникальные аспекты. «С одной стороны, мы видим, что физика и химия на сегодняшний день тоже имеют дело с уникальными явлениями (с помощью абстракции). С другой стороны, биология сама должна абстрагироваться от уникального и заниматься общими закономерностями»;

в биологии, как и в квантовой физике, необходимо учитывать *принцип дополнителности*;

«Считается, что биологические законы формулируются для невредимых живых организмов, а для получения данных об организмах на молекулярном уровне их приходится расчленять, тем самым (обычно) убивая их. Таким образом, выходит, что, как и в физике, чем ближе мы подходим к познанию чего-то, тем больше у нас шансов извратить нечто другое...». По мнению Рьюза, аналогия биологии с физикой необоснована. До сих пор не обнаружено никаких биологических явлений, которые могут быть объяснены только с помощью «биологического принципа дополнителности». Немолекулярные биологи также часто умерщвляют объекты своих исследований, а палеонтологи вообще не имеют дела с живыми существами;

*исторический* характер органических явлений;

конечно, нельзя отрицать, что «биологическим понятиям обычно присущ исторический элемент, которого нет в понятиях физики и химии». Биология «принимает в расчет историческое измерение в анализируемых ею объектах в отличие от физики и химии». Однако не совсем верно и жесткое утверждение, что в физике и химии никогда не учитывается прошлого. Например, понятие гистерезиса покоится именно на такого рода своеобразной «исторической памяти» магнитных элементов: намагниченность ферромагнитного кольца «зависит не только от напряженности магнитного поля в данный момент времени, но и от прошлой истории кольца». По крайней мере, нельзя утверждать, что физико-химическое объяснение обязательно должно быть неисторическим;

• биология в отличие от физических наук заглядывает в будущее, особенно когда она занимается *функциями*;

конечно, нефункциональный подход современной физики и химии «обязательно теряет что-то по сравнению с функциональным биологическим подходом». Но нельзя считать на этом основании, что первый нельзя применять к биологическим явлениям и результаты такого применения являются неадекватными. «Однако, хорошо это или плохо, такой подход к биологическим явлениям не обеспечит того, что обеспечивается современной биологией. В частности, он не позволит нам обратить внимания на некоторые вещи, которые попадают в поле нашего зрения, если мы задумаемся о том, что произойдет в будущем. Можно не пользоваться телеологией, но ее нельзя перевести на нетелеологический язык. ... при современном состоянии физико-химических теорий объяснения всех аспектов биологического мира мы не получим». Всегда остаются в биологических явлениях аспекты, ускользающие от современной физики и химии. И в этом пункте Рьюз признает долю истины в аргументации организмистов;

• высокая степень организованности биологических явлений — специфика природы биологического порядка;

«Многие авторы ухватились за этот факт и считают, что биологические теории могут справиться с проблемами, связанными с этим порядком, и объяснить его, но что для физических и химических теорий эти проблемы слишком трудны. Отсюда они делают вывод, что биология должна остаться автономной». Рьюз считает крайнюю форму этого аргумента неприемлемой. «Конечно, нельзя утверждать, что физика и химия совсем не интересуются проблемой порядка». Напротив, молекулярная биология, например, изучает именно порядок наследуемого материала клетки. Но в этом аргументе есть доля истины, считает Рьюз, поскольку физик принимает биологический порядок как данное.

Исходя из существующих физических теорий он «может объяснить результаты, наблюдаемого им порядка, но не может объяснить, как был получен этот порядок»<sup>226</sup>.

Чаще всего критики механицизма отрицали какой-либо конкретный вид механицизма (например, ньютоновский или картезианский). Или же отказ от механицизма аргументировался тем, что процессы, например саморегулирующегося гомеостаза, характерные для живого организма, невозможно объяснить механически. Однако в настоящее время механистическое описание саморегулирующихся гомеостатических устройств стало характерным для кибернетики. Таким образом, такого рода критика была направлена главным образом против грубого механицизма. Сторонники холизма подчеркивали необходимость целостного анализа организма, а изолированное изучение его частей рассматривали как нерелевантное. В то же время, подчеркивая, что целое больше суммы его частей, они отмечали, что в целом нет ничего, кроме этих частей (в отличие от витализма, добавлявшего к этому нематериальную «жизненную силу»). Сторонники холизма пытались объяснить возникновение высших уровней целого из низших уровней (например, жизни из неживой материи), утверждая, что синтез частей в целое изменяет эти части и они более не функционируют так, как функционировали бы в изоляции. Но таким образом постулируется существование принципиально неанализируемого средствами науки целого. Механическое объяснение, если его понимать как описание механизма природных явлений, не следует отождествлять с классическим образцом механизма — пружинными часами с передаточным механизмом. С помощью такого рода аналогий, конечно, не могут быть научно объяснены природные явления, но ведь и современные часы стали выглядеть иначе, представляя собой электронную схему с микропроцессором. Важно не отождествлять описание механизма природных явлений с редукцией их единственному основополагающему уровню (например, физико-химическому или атомному), признавать сложность связей элементов и взаимодействий в анализируемой системе и не считать приведенный на данном уровне развития науки список таких механизмов исчерпывающим. «Короче говоря, наука не должна начинать с исчерпывающего списка механизмов; это дело самой науки открывать механизмы, работающие в природе. На всякой стадии в науке может быть приведен апостериорный перечень механизмов; и наша уверенность в том, что такой список является исчерпывающим, покоится на уверенности в полноте этой сферы науки»<sup>227</sup>.

В заключение важно подчеркнуть, что в науке (истории науки) нельзя принимать за абсолютную догму лишь какой-либо один подход.

---

<sup>226</sup> Рьюз М. *Философия биологии*. М.: Прогресс, 1977, с. 292–300.

<sup>227</sup> См.: *Brandon R.* Указ. соч., р. 183–192. «В позитивной части я хочу показать, что современная биология является и должна быть механистической» (там же, стр. 180).

В ней часты возвращения на новом уровне к старым, признанным непродуктивными подходам, и догматизация новых идей, опрокинувших прежние господствующие догмы. Например, известный физик Давид Бом создал модель квантово-механических явлений, альтернативную копенгагенской интерпретации квантовой механики, производшей революционные изменения в физических представлениях, но ставшей в настоящее время официальной догмой теоретической физики. В этой строго детерминистской теории <sup>228</sup> (в отличие от признания корпускулярно-волнового дуализма и вероятностного характера квантовых законов копенгагенской интерпретацией, восходящей к датскому физическому Н. Бору) волновая функция приравнивается к классическому силовому полю, которое удерживает частицы на их орбитах <sup>229</sup>. Согласно Бому теория относительности и квантовая теория, так же, как и предшествующие им и ими замещенные физические теории (прежде всего ньютоновская механика), должны быть признаны гипотезами, не претендующими на открытие абсолютной истины. «В большей мере необходимо рассматривать природу вещей с точки зрения бесконечного развития новых взглядов. Наши теории являются прежде всего способами рассмотрения мира как целого (т. е. картинами мира), а не абсолютными истинными знаниями вещей (или постоянным приближением к ней)» <sup>230</sup>.

Таким образом, системные представления, развивавшиеся на разных стадиях человеческого познания во второй половине XX в., стали использоваться в современной науке и технике, став основой системного исследования и проектирования (табл. 2).

---

<sup>228</sup> А в этом и заключается, по мнению Брандона, «механистическое» в современном позитивно расширительном смысле слова объяснение. «Таким образом, механистический подход является поиском каузальных регулярностей или воспроизводимых причинных структур. Механизм как раз и является каузальной структурой» (Brandon R. *Concepts and Methods in Evolutionary Biology*. Cambridge: Cambridge University Press, 1996, p. 194). Сам же Бом утверждает обратное: тот факт, что квантовомеханические закономерности являются статистическими, еще не является отходом от механистического способа объяснения, поскольку можно сконструировать даже такие автоматы, действие которых описывается вероятностными законами. Для него гораздо более важным является то, что квантовая теория отстает от рассмотрения целого по частям, т. е. от механистического порядка, господствовавшего в физической мысли более четырех столетий. Именно такой способ анализа он считает механистическим (Bohm D. *Die implizite Ordnung. Grundlagen eines dynamischen Holismus*. München: Dianus-Trikont Buchverlag GmbH, 1985, S. 229–230). Таким образом, само понятие механизма природных явлений не является достаточно четко определенным.

<sup>229</sup> D. Albert. David Bohms Quantetheorie. In: *Quantenphilosophie*. Heidelberg: Spektrum, 1996; D. Bohm. *Causality and Change in Modern Physics*. L.: Routledge & Kegan Paul Ltd., 1959.

<sup>230</sup> Bohm D. *Die implizite Ordnung. Grundlagen eines dynamischen Holismus*. München: Dianus-Trikont Buchverlag GmbH, 1985, S. 24.

**Системные представления, развивавшиеся на разных стадиях  
человеческого познания**

Системы человеческих знаний	Искусственные системы	Естественные системы
<p>Мифы, приведенные в систему Гомером и Гесиодом</p> <p>1. Система наук Аристотеля; дедуктивная геометрия Евклида; система астрономических знаний – <i>Almagest</i> Птолемея</p> <p>2. Комплексность без единства в средние века; стремление к всесторонним знаниям художников-инженеров-ученых Ренессанса; организация знаний в энциклопедии Дидро</p> <p>3. «Трактат о системах» Кондильяка и критика им натурфилософского системосозидания <sup>175</sup></p> <p>4. Дисциплинарность и междисциплинарность; системные и комплексные исследования</p>	<p>Социальная мегамашина как прообраз сложных машинных систем (Л. Мэмфорд)</p> <p>1. Простые машины как орудия и технэ как ремесленное искусство</p> <p>2. Сложные машины – <i>Teatrum Machinarum</i> Якоба Лейпольда и компендиум технологий – <i>Allgemeine Technologie</i> Бекманна</p> <p>3. Человеко-машинные и биотехнологические системы, системотехническая деятельность как целое</p> <p>4. Социотехнические системы и организационное проектирование; система «человек–техника–природа» и концепция устойчивого развития</p>	<p>Мифологические модели мира</p> <p>1. Механическая модель космоса Анаксимандра; целостность, неделимость и вечность мира Парменида; Демокрит: атомы и пустота</p> <p>2. Классическое представление мира как мирового механизма: а) Солнечная система по Копернику и Ньютону, б) планетарная модель атома</p> <p>3. Организм и витализм, монады Лейбница и гердеровский мировой организм, холизм и механицизм</p> <p>4. Неклассическая картина мира – теория относительности и квантовая механика; биосфера и экосистемы, синергетика и глобальный эволюционизм</p>

<sup>175</sup> По Кондильяку, «всякая система есть не что иное, как расположение различных частей какого-нибудь искусства или науки в известном порядке, в котором они все взаимно поддерживают друг друга и в котором последние части обьясняются первыми». Он различает три типа таких систем: абстрактные максимы, гипотезы («предположения, придумываемые для объяснения вещей, причины которых иначе нельзя было бы указать») и правильно установленные факты (истинные системы). ...». Нет такой науки, нет такого искусства, в которых невозможно составлять систем, но в одних ставят себе целью объяснить явления, а в других подготавливать и порождать». Абстрактные понятия, по Кондильяку, необходимы для того, чтобы приводить наши знания в порядок. «Если бы я захотел привести в систему некоторую область знания, все частности которой я исследовал, то мне необходимо было бы лишь установить взаимоотношения ее различных частей между собой и заметить те отношения, где части находились бы в столь тесной связи, что, зная первые из них, можно было бы объяснить все остальные». (Де Кондильяк Э.Б. Трактат о системах, в которых вскрываются их недостатки и достоинства. М.: Госсоцэкономиздат, 1938, с. 3, 4, 13, 168. См. Saltkyow W. Die Philosophie der Condillacs. Berner Studien zue Philosophie und ihrer Geschichte. Bd. XXVII. Bern: Verlag von C. Sturzenegger, 1901).



### 3. Новое понимание научно-технического прогресса в концепции устойчивого развития

В XVII–XIX вв. формируется понимание научно-технического прогресса как бесконечного совершенствования человеческого общества и самой природы на основе все возрастающего объема научных знаний о мире. К середине XX в. эта иллюзия и сопутствующие ей космические и естественнонаучно-технические утопии приводят к потере границ человеческого познания и технического действия, развитию научно-технического оптимизма относительно возможностей с помощью все возрастающих достижений науки и техники осчастливить человечество.

Эта вера в бесконечный научно-технический прогресс, абсолютизация «свободного» от ценностей научного исследования, иллюзия принципиальной «делаемости» мира на основе полученных знаний приводят к возникновению своего рода «научной религии», в большой степени основанной на вере в силу научного знания и прогрессивности технического действия, которое на этом знании базируется. Возникает иллюзия того, что если техника сделала из животного человека, то в сочетании с наукой она может сделать из него бога, творца не только артефактов, но и самой материи. Научно-технический прогресс неявно осознается в этом случае как выход за границы возможного. Такие представления получили распространение в философии науки и философии техники конца XIX – начала XX вв., но впервые они появились в XVII в. в трудах Фрэнсиса Бэкона.

С этого времени наука стала осознаваться как средство умножения знаний с целью создания искусственных условий и устройств для облегчения жизни. Уверенность Бэкона в гуманности научно-технического прогресса поддерживалась более поздней идеей этичности нейтрального знания и моральной ответственности за его применение во вред человечеству. Программа развития науки, созданная Бэконом, должна была убедить сильных мира сего в необходимости и полезности для общества и государства финансовой и организационной поддержки науки. Эта программа состояла в том, чтобы «организовать науку в виде изобретательского предприятия и так ее социально институционализировать, чтобы ее изобретения служили на пользу человеку»<sup>176</sup>. Этой главной цели служат «Новый Органон» и социальная утопия «Новая Атлантида» Фрэнсиса Бэкона.

Если в античности целью науки считалось познание того, что человек может познать, то Бэкон провозглашал целью господство человека над природой, т. е. использование ее с помощью точных знаний природных причин в своих собственных целях и тем самым утверждение своих прав над природой, дарованных человеку самим Богом. Причем господство человека над миром вещей обусловлено, по мнению Бэкона, науками и искусствами. Возникает, правда, опасность,

<sup>176</sup> Böhme G. Am Ende des Beconschen Zeitalters. In: Wissenschaft und Gesellschaft, 1992, № 3, S. 129.

что результаты наук и искусств могут быть использованы в неблагоприятных целях, но это, видимо, не кажется Бэкону серьезной опасностью, поскольку никого не может воодушевить. Более того, он считает, что в отличие от политики, в которой стремление улучшить положение вещей практически всегда сопровождается применением силы и несправедливостью, изобретения способны осчастливить человечество и создать благосостояние без причинения кому-либо вреда. Такое утверждение в конце XX в. выглядит по меньшей мере утопическим. Различая три вида честолюбия, которому может служить наука: умножению собственной личной власти на родине, усилению мощи своей родины и ее господства над другими народами и расширению господства всего человечества над природой в целом, — Бэкон подчеркивает, что, несомненно, последний вид честолюбия самый здоровый и благородный. С современной точки зрения доверия одной лишь профессиональной этике здесь явно недостаточно. Однако Бэкон не обсуждает последствия использования научно-технических достижений в личных и национальных целях, но во зло человечеству. В его социальной утопии «Новая Атлантида», напротив, утверждает необходимость сохранения этих достижений как национальной тайны. Проблематично и редкое до Бэкона, но утвердившееся после него жесткое противопоставление человечества и природы<sup>177</sup>.

Наука должна исследовать скрытые в природе силы и максимально усилить власть человека над природой — гигантской «мастерской», в которой разворачивается человеческая деятельность. Эту задачу и решает «Новый Органон» — логика изобретения, методология того, как делать изобретения, которые фундаментальным образом преобразуют мир, например изобретение пороха или компаса. Уже использование единственного изобретения настолько воодушевляет людей, что они начинают считать данного изобретателя человеком высшего сорта. Но еще большего уважения заслуживает, по мнению Бэкона, открытие метода, облегчающего получение такого рода изобретений. Этот метод должен реально объяснить многие явления, не оставляя места суеверию и обману, ошибкам и путанице, что имеет большую ценность, чем все изобретения, вместе взятые. Тем самым Бэкон изменяет саму систему человеческих знаний, которая рассматривается теперь не как закрытая система, канон, а как постоянно обновляемая, открытая система, плод коллективного познания. Наука будущего должна стать деятельной, а ее методология должна основываться на соединении экспериментальной и рациональной способностей духа. Речь идет о том, что методология исследования рассматривается не как инструмент организации знаний, а как перенос коллективного опыта в еще неизведанные области. Отсюда проистекает идея Бэкона о научно-техническом прогрессе как о передаваемом от поколения к поколению научном опыте, получаемом в каждый момент времени в результате кооперации труда отдельных исследователей.

---

<sup>177</sup> Krohn W. Einleitung. In: Fransis Bacon. Neues Organon. Teilband 1. Hamburg: Felix Meiner Verlag, 1990.

Наука впервые у Бэкона предстает как научное исследование, организованное по прикладным сферам в исследовательские лаборатории, для удовлетворения общественных нужд, т. е. оно непосредственно обслуживает общественные нужды. Однако это прежде всего нужды государства, в том числе и научно-техническое развитие военной сферы<sup>178</sup>. Таким образом, программа Бэкона выражает и продолжает агрессивный подход к освоению богатств природы для человеческих целей. Сформулированная им программа, будучи несомненно прогрессивной в его время, хотя и содержала «подводные камни», была успешно реализована в течение XIX–XX вв., но именно к концу XX в. эта программа, можно сказать, исчерпала себя<sup>179</sup>.

Усиление господства человека над природой и всеми полезными искусствами, мануфактурами, механическими изделиями и машинами с помощью экспериментов, игнорируя вопросы теологии, морали, политики, метафизики, грамматики, риторики и логики, стало девизом и Лондонского королевского общества. Это отстранение естественно-научного исследования от всех этических и религиозных вопросов, носившее ранее прогрессивный характер, сегодня начинает противоречить современному общественному развитию, поскольку устраняет границы возможного для человека в отдельности и человечества в целом, ставя его в один ряд с Богом-Творцом, создающим «земной рай» с помощью промышленности, техники и науки.

Такой супероптимизм в отношении науки и техники окончательно формируется в XIX в. Даже христиански религиозно настроенный Ренан в одном из своих ранних произведений «Будущее науки» (написанном в 1848–1849 гг. под впечатлением французской революции, но впервые опубликованном в 1890 г.)<sup>180</sup> утверждает в качестве высшего пункта возникшую из христианской формы мышления и традиции научную веру.

С его точки зрения, сама наука обладает способностью откровения и творения. Поскольку ее задачей становится организация не только человечества, но и самого Бога, она требует полной автономии и безграничной свободы. Тогда исследователь становится сам себе хозяином, не знающим никакого контроля. Именно благодаря науке человек, а значит, и дух, получает господство над материей. Такое господство, как ожидает Ренан, может наступить в результате научных исследований, возможно, и через миллион лет, когда человечество узнает законы жизни и атома и, переделав элементы и изменив виды, получит бесконечную власть и контроль над универсумом. Наука становится в его глазах спасителем и освободителем универсума. Научное знание при этом будет реальной основой власти «интеллектуальной элиты», которая с помощью «превентивного террора» охранит все на земле от разрушения и приблизит тем самым эту элиту к богам, сделав ее представителем сверхлюдьми. Если же для открытия тайны жизни потребуются принести в жертву само человечество, чтобы построить новый мир, это будет означать

---

<sup>178</sup> *Böhme G.* Указ. соч., S. 130–132.

<sup>179</sup> См.: *Böhme G.* Am Ende des Beconschen Zeitalters. Studien zur Wissenschaftsentwicklung. Frankfurt a. M.: Suhrkamp, 1993.

<sup>180</sup> См.: *Wagner Fr.* Weg und Abweg der Naturwissenschaft. Denk- und Strukturformen, Fortschrittsglaube und Wissenschaftsreligion. München: C.H. Beck, 1970, S. 98–101.

лишь, что смысл человеческого существования исполнен — выросшее в ходе эволюции из животного мира человечество превратится в божественную сущность.

Двумя десятилетиями позже, осознав, что результаты научно-технического развития могут служить не только добру, но и злу, и последствия их невозможно предвидеть даже в обозримом будущем, Ренан пришел к выводу, что таким образом можно перейти всякие границы, и в предисловии к упомянутой работе признал, что ожидание достижения человечеством безграничного счастья с помощью научно-технического прогресса является иллюзией.

Точно так же и российский философ техники и инженер П.К. Энгельмейер начинает свою брошюру «Технический итог XIX века»<sup>181</sup> словами, полными оптимизма: «Наш XIX технический век подходит к концу, век пара и электричества, век небывалого покорения сил природы».

Далее, характеризуя достижения технического прогресса, он пишет: «Техника покорила нам пространство и время, материю и силу и сама служит той силой, которая неудержимо гонит вперед колесо прогресса»<sup>182</sup>. Оптимистически оценивая эти достижения, Энгельмейер считает, что господствующим для XIX в. является именно техническое мировоззрение — не только из-за широкого развития фабрик и железных дорог, паровозов, телеграфа и других символов технического века, но и благодаря внутренней основной тенденции западноевропейской культуры, заключающейся в стремлении реальной силой побеждать реальные препятствия. Подводя итог развитию техники, Энгельмейер отмечает, что в течение многих тысячелетий техника воспринималась лишь как «бессознательная сила, вступавшая также бессознательно в единоборство со стихийными силами природы. В XVIII в. техника впервые признается и называется по имени и открыто становится в ряду почтенных и свободных профессий»<sup>183</sup>. Главная же особенность техники XIX в. — это покорение сил природы. Функция науки — предсказание фактов, функция техники — воздействуя на природу, искусственно вызывать желаемые и сдерживать нежелательные факты. «Техническое мировоззрение смотрит на мир как на игру сил, доступных нашему пониманию и нашему воздействию на них, другими словами, оно влетает волю человека в другие силы природы, управляющие порядком явлений. Если выразиться одной короткой фразой, то техническое мировоззрение сводится к формуле «человек — кузнец своего счастья»<sup>184</sup>. Человек научился направлять жизнь по своему желанию. Это умение Энгельмейер и называет техникой. Гений человечества за последние 100–200 лет окружил нас искусственным микрокосмосом внутри природного микрокосмоса, поскольку удовлетворение потребностей должно быть завоевано человеком, для чего в обстановке его жизни должны быть произведены целесообразные изменения. Поэтому Энгельмейер отводит ведущее значение в обществе именно инженерам, которые должны стать технической элитой общества, для чего должна быть реформирована система их обучения. Насколько «эффективным» может быть такое управление обществом, показало рождение технократии в XX в. Энгельмейеру, как и Ренану, было трудно предвидеть, к каким неконтролируемым последствиям может привести «безграничный» научно-технический прогресс, особенно в военной сфере.

<sup>181</sup> Энгельмейер П.К. Технический итог XIX века. М.: Тип. К.А. Казначеева, 1898, с. 1.

<sup>182</sup> Там же, с. 6.

<sup>183</sup> Там же, с. 12–13.

<sup>184</sup> Энгельмейер П.К. Техника как фактор современной культуры // Мир божий, 1900, № 7, с. 79–80.

Но и в XX в. уже раздавались голоса, критикующие опасность отстранения научно-технического прогресса от моральных, общественных и природных ограничений. В России, например, эту точку зрения отстаивал известный русский философ Николай Александрович Бердяев, хотя его голос и не был услышан в эпоху всеобщей эйфории от поступательного научно-технического и хозяйственного развития.

В работе «Человек и машина» Бердяев анализирует основополагающую проблему современной цивилизации — веру в технический прогресс: «Техника есть последняя любовь человека, и он готов изменить свой образ под влиянием предмета своей любви. И все, что происходит с миром, питает эту новую веру человека. Человек жаждет чуда для веры, и ему казалось, что чудеса прекратились. И вот техника производит настоящие чудеса. Проблема техники очень тревожна для христианского сознания, и она не была еще христианами осмыслена. Два отношения существуют у христиан к технике, и оба недостаточны. Большинство считает технику религиозно нейтральной и безразличной, техника есть дело инженеров. Она дает усовершенствования жизни, которыми пользуются и христиане. Техника умножает блага жизни. Но эта специальная область, не затрагивающая никак сознания и совести христианина, не ставит никакой духовной проблемы. Христианское же меньшинство переживает технику апокалиптически, испытывает ужас перед ее возрастающей мощью над человеческой жизнью, готова видеть в ней торжество духа антихриста, зверя, выходящего из бездны»<sup>185</sup>. Бердяев подчеркивает при этом основной парадокс нашей цивилизации: без техники культура является невозможной, но вступление в техническую эпоху культуры ведет ее к гибели. Человек становится орудием производства, а продукт производства — вещь — становится над человеком. Техника творит новую действительность и отрывает человека от природы.

Бердяев проводит различие между организмом и организацией. Первый рождается из природы и сам рождает, а организация создается деятельностью человека и не может ничего рождать. Она представляет собой механизм, который в отличие от организма не может сам расти и развиваться, а его целесообразность обуславливается организатором извне и зависит от организатора. «Новая природная действительность, перед которой ставит человека современная техника, совсем не есть продукт эволюции, а есть продукт изобретательства и творческой активности самого человека, не процесса органического, а процесса организационного. С этим связан смысл всей технической эпохи. *Господство техники и машины есть прежде всего переход от органической жизни к организованной жизни, от растительности к конструктивности.* С точки зрения органической жизни техника означает развоплощение, разрыв в органических телах истории, разрыв плоти и духа. Техника раскрывает новую ступень действительности, и эта действительность есть создание человека, результат прорыва духа в природу и внедрение разума в стихийные процессы. Техника разрушает старые тела и создает новые тела, совсем не похожие на тела органические, создает тела организованные». Таким образом, техника в той форме, в которой она существует с XVIII в., разрушает веру в вечный порядок природы. И трагедия заключается в том, что творение — техника — не повинуются более самому творцу — человеку, восстает против него. «Прометеевский дух человека не в силах овладеть созданной им техникой, справиться с раскованными небывальными энергиями. ... Техника заменяет органически-иррациональное организованно-рациональным. Но она порождает новые иррациональные последствия в социальной жизни ... Здесь мы сталкиваемся с пределами перехода от органически-иррационального к организованно-

---

<sup>185</sup> Бердяев Н. А. Человек и машина (Проблема социологии и метафизики техники) // Вопросы философии, 1985, № 2, с. 147–148.

рациональному. Организация, связанная с техникой, предполагает организующий субъект, т. е. организм, и он сам не может быть превращен в машину. Самый дух, создавший технику и машину, не может быть технизирован и машинизирован без остатка, в нем всегда останется иррациональное начало». Кроме того, «человек совсем еще не приспособился к той новой действительности, которая раскрывается через технику и машину, он не знает, в состоянии ли будет дышать в новой электрической и радиоактивной атмосфере, в новой холодной металлической действительности, лишенной животной теплоты. Мы совсем еще не знаем, насколько разрушительна для человека та атмосфера, которая создается его собственными техническими открытиями и изобретениями»<sup>186</sup>. Техника приобретает в XX в. космогоническое значение, обладая гигантской силой реализации, и впервые делает человека царем и господином мира, «космиургом». Но в этом и заключается опасность техники для самого человека и для окружающего его мира, поскольку массовая техническая организация уничтожает всякую индивидуальность как внешней, так и внутренней эмоциональной жизни человека.

Ссылаясь на Ренана, Бердяев предупреждает, что техника может обладать в руках человека или небольшой группы людей огромной разрушительной силой. «Скоро мирные ученые смогут производить потрясения не только исторического, но и космического характера». Это позволяет концентрировать власть в руках тех, кто обладает техническими секретами. Поэтому современная техника не может быть нейтральной для вопросов духа, от этого зависит судьба всего человечества. По мнению Бердяева, «техническая эпоха», эпоха власти техники над человеческой душой неизбежно кончится победой человеческого духа, не отрицанием техники, а подчинением ее человеческому духу и духовным ценностям жизни. Но техническая цивилизация, но технизированное и машинизированное общество хотят, чтобы человек был их частью, их средством и орудием, они все делают, чтобы человек перестал быть единством и целостностью, т. е. хотят, чтобы человек перестал быть личностью. И предстоит страшная борьба между личностью и технической цивилизацией, технизированным обществом ... Техника всегда безжалостна ко всему живому и существующему. И жалость к живому и существующему должна ограничить власть техники в жизни»<sup>187</sup>. Бердяев видел опасность технизации духа и разума в духовном энтузиазме, с которым проводилось техническое строительство в советской коммунистической России и который был основан на марксистском учении, воспринимавшемся Бердяевым как эрзац истинной религии.

Эта программа безудержного научно-технического прогресса поддерживалась марксистско-ленинской идеологией. Идеология определяет экономический порядок в тоталитарных обществах. «Коммунизм вырастает из фундаментального противоречия: он воодушевляет людей идеей универсального преобразования мира, стимулирует сверхчеловеческую энергию и пробуждает энтузиазм; в то же время он реализует, однако, серенький и скучный земной рай, бюрократическое царство, в котором вся жизнь рационализирована до самых мелочей, уничтожена любая тайна и всякая перспектива бесконечности. Экономизм оказывается конечной судьбой человека, и вне его не существует никакой иной жизни, никакого более бытия. Великие идеи Бога и Человека полностью искореняются; вместе с ними исчезает общее духовное содержание человеческой жизни, остается лишь экономика и техника.

---

<sup>186</sup> Бердяев Н. А. Указ. соч., с. 150–151.

<sup>187</sup> Там же, с. 159.

Коммунизм невозможно понять, если его рассматривать только в качестве социальной системы. Жизнеспособность антирелигиозной пропаганды и религиозных преследований в Советской России можно понять лишь в том случае, если рассматривать коммунизм в качестве религии, которая стремится подменить христианство. Только религия, а не какое-либо политическое или экономическое учение может притязать на право быть единственным носителем абсолютной истины»<sup>188</sup>.

Как известно, «знаменитый инженер человеческих душ» и «гениальный инженер социалистического строительства» Иосиф Сталин был главным (хотя и не единственным) создателем, точнее, реализатором социалистического строительства с помощью иерархической организации тотального планирования и централизованной, неконтролируемой манипуляции огромными ресурсами. В центре внимания тогда находилось создание прежде всего тяжелой промышленности как основы военно-промышленного комплекса для производства новой техники вооружения под знаменем быстрого повышения обороноспособности страны. Практически тем самым реализовывалась социальная утопия, сформулированная Марксом и Энгельсом и частично реализованная Лениным. В новой программе социалистического строительства огромную роль играла техника, которая должна была стать на службу стоящей у власти узкой группе партийного руководства. Отдельная личность не играла никакой роли, поскольку отдельные индивидуумы становились колесиками и винтиками единого механизма социалистического строительства. Речь шла и о «перековке» или переделке человеческого сознания с помощью принудительного труда в концентрационных лагерях.

Первым подобным гигантским «социальным экспериментом» было строительство Беломоро-Балтийского канала – «образцовый» пример бесполезной работы, приведшей к большому количеству жертв (там погибло более 100 000 человек). Это было гигантским хозяйственным предприятием под руководством ОГПУ, жестко запланированным и с «новым сознанием», но пока без всякой современной техники (в качестве орудий труда применялись главным образом лопата, кирка и тачка). «Перековка» должна была помочь преодолеть «условные рефлексы инженера капиталистической эпохи». Данный процесс осуществлялся «под высоким социальным давлением», стимулирующим быстрый стиль работы и достигавшимся за счет планирования и решений Коммунистической партии, которые в действительности были лишь помехой инженерной работе. Российские инженеры и все пригнанные на принудительные работы должны были действовать и жить в нечеловеческих условиях, в заключении, при минимальном количестве оборудования и материалов, отсутствии квалифицированной рабочей силы и «сколь угодно законченного рабочего проекта». Для долгих размышлений просто не было времени. Утвержденный Коммунистической партией план был высшим законом для всех – сначала на Беломоро-Балтийском канале, а затем и для всего Советского Союза<sup>189</sup>. Такой насильственный технический и социальный прогресс был в своей основе антигуманным и губительным для окружающей среды. Это фальшивое представление о прогрессе господствовало в Советском Союзе с начала 30-х до 50-х гг. XX в. и было реализацией социалистической идеи в действительности. К. Поппер замечает по этому поводу: «... Марксистский коммунизм является самым ужасным примером такой попытки осуществить рай на Земле: это – эксперимент, на котором мы учимся, как легко, если берешь на себя осуществление земного рая, превратить его в ад»<sup>190</sup>.

<sup>188</sup> Бердяев Н. Правда и ложь коммунизма, с. 75–76.

<sup>189</sup> Подробнее см.: Горохов В. Г. Петр Климентьевич Энгельмейер. М.: Наука, 1997, с. 176–205.

<sup>190</sup> Popper Karl R. Woran glaubt der Westen? in: Auf der Suche nach einer besseren Welt. Vorträge und Aufsätze aus dreißig Jahren, München, Zürich: Piper, 1984, S. 250.

В данном контексте весьма интересна критика теории прогресса, данная С.Н. Булгаковым в статье «Основные проблемы теории прогресса», напечатанной им в 1902 г.<sup>191</sup> Булгаков подчеркивает, что теория прогресса является гораздо большим, чем любая отдельная научная теория, — она представляет собой теодицею, призванную заменить религию и метафизику для современного человека исключительно средствами позитивной науки. Но эта «позитивно-атеистическая теория прогресса основывается только на вере, хотя и прикрывается научным облачением»<sup>192</sup>. Это учение «хочет вселить убеждение в несомненном наступлении» счастливого будущего царства на земле, «хочет его научно прудумотреть и предсказать»<sup>193</sup>. Таково, например, по мнению Булгакова, учение Маркса и Энгельса о научном социализме. Эту теорию прогресса следует рассматривать не как науку, а как религию прогресса. «Субъектом бесконечного прогресса является человечество. Человечество вполне играет роль божества в религии прогресса ...» Цель прогресса — «возможно больший рост счастья возможно большего числа лиц»<sup>194</sup>. Чтобы достичь этой цели, одни поколения должны страдать, чтобы другие были счастливы, но строить свое счастье на несчастьи других, по меньшей мере, безнравственно. «Позитивная теория прогресса является своего рода эсхатологией, призванной воодушевить борцов и поддержать религиозную веру в конечное торжество добра»<sup>195</sup>.

Эта вера в первые десятилетия советской власти умело поддерживалась и эксплуатировалась партийным руководством. В это время возникли первые исследовательские и проектные организации, в которых использовался подневольный труд заключенных ученых и инженеров. Многие из них даже в заключении продолжали верить в великое предназначение такого рода прогресса, т. е. в огромной значимости событий были убеждены не только те, кто сажал, но и те, кто сидел: «среди десятков тысяч нашлось немало таких людей, которые поняли глубокое государственное значение предложенной работы»<sup>196</sup>.

В этом смысле показательна судьба одного из крупных инженеров той поры Б.Э. Стюнкеля, арестованного в 1936 г., весьма образованного и интеллигентного человека и специалиста в области энергетики. В своем письме из заключения он пишет в 1931 г. жене: «... в общем котле исторических событий такого огромного размаха и значения, как русская революция, ломающая совершенно старые устои человеческого общества, судьба личности такая мелочь, что о ней не приходится много говорить. Нельзя в вихре таких событий хныкать о себе. Я считаю, что в вихре этих событий, как песчинка, попал в общий смерч и должен быть счастлив, что физически уцелел и могу снова наблюдать жизнь, и, хотя за решеткой, помогать строительству ...»<sup>197</sup>.

<sup>191</sup> Булгаков С.Н. *Философия хозяйства*. М.: Наука, 1990, с. 261–309, 401.

<sup>192</sup> Там же, с. 296–297.

<sup>193</sup> Там же, с. 270.

<sup>194</sup> Там же, с. 277, 281.

<sup>195</sup> Там же, с. 295–296.

<sup>196</sup> Инсаров А.С. *Балтийско-Беломорский водный путь*. М.: ОГИЗ, 1934, с. 57.

<sup>197</sup> Центральный гос. архив народного х-ва СССР. Ф. 4394, оп. 1, д. 15, л. 49. Б.Э. Стюнкель был расстрелян в 1939 г., а в 1956 г. посмертно реабилитирован.



Техника начинает господствовать над человеком, а не служить на благо человека, делает его не счастливым (как предполагал, например, Энгельмейер), а несчастным. Государство, покровительствуя развитию науки и техники, неизбежно требует от них полезности для умножения своей экономической и военной мощи, а не свободы исследования и умножения знаний на благо человечества.

«Производители отчуждались от средств производства, объявлявшихся «общенародным» достоянием, а на деле ставших достоянием капитализированного государства, где все решения принимал узкий круг «вождей».

В период индустриализации привлекались самые передовые технологии, специалисты из СССР обучались в Германии и США. Базовые предприятия строились в основном в старых промышленных районах, где природа уже была сильно деформирована. Новыми районами освоения обычно оказывались бывшие окраины Российской империи, а теперь новые социалистические республики. Основной задачей был экономический рост (догнать и перегнать), а отдаленной целью – строительство коммунизма, но более близкой и реальной – создание мощной военной машины, что диктовалось идеей мировой революции и фактором внешнего враждебного окружения. Вторая мировая война привела к сдвигу промышленности на Урал и в Западную Сибирь в старые промышленные районы, а также в Среднюю Азию и Казахстан.

После войны начался новый этап обновления технологий, которые вывозили из поверженной Германии целыми заводами. Вместе с тем огромные средства вкладывались в создание новых видов оружия – началась новая гонка вооружений: быстрое развитие военных технологий и гипертрофированное возрастание военно-промышленного комплекса. И на этом этапе развития капитал получали за счет удержания жизни людей на уровне, близком к прожиточному минимуму. Однако подобная ситуация не могла продолжаться долго в условиях мирного сосуществования, на которое были обречены великие державы после накопления ядерного оружия. Мирное сосуществование предполагало и конкурентное взаимодействие. Поэтому руководители СССР, начиная с Н.С. Хрущева, были вынуждены принимать меры по повышению жизненного уровня населения и одновременно – по изысканию средств для поддержания военной машины: Эта задача дополнялась за счет разграбления природных ресурсов ...»<sup>198</sup>.

История наглядно показывает, что «сверху» просто невозможно предусмотреть все до мельчайших деталей. «Централизованное авторитарное государство исходит из того, что большинство его граждан не в состоянии ответственно думать и действовать, сами заботиться о себе и быть полезными сообществу. Оно создает из привилегированного меньшинства управляющий круг людей, который с помощью возможно более обширного регулирования всех относящихся к «данному сообществу» процессов пытается исключить персональные решения. ... Свободное общество видит в своих гражданах достойных и совершеннолетних людей, совместную жизнь которых оно регулирует с помощью законов и предписаний лишь в том случае, если отдельные индивидуумы не в состоянии регулировать их отношения в сообществе. Оно заботится с помощью принятия на себя властных задач об окружении, чтобы защитить свободу каждого в отдельности и дать способностям индивида по возможности развиваться свободно. По отношению к слабым и неработоспособным оно берет на себя ответственность, если помощь с другой стороны невозможна.

---

<sup>198</sup> Горшков В. Г., Кондратьев К. Я., Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Окружающая среда: от новых технологий к новому мышлению. М., 1994, с. 21–22.

Демократическое государство само не занимается хозяйственной деятельностью, а лишь создает условия для справедливой конкуренции. Оно воздерживается от мешающего развитию регулирования и пытается повсюду и в себе самом исключить концентрацию власти в любой форме»<sup>199</sup>. Централизованная и фактически бесконтрольная манипуляция огромными ресурсами (игнорирующая общественное мнение и незаручившаяся независимой экспертизой) является не преимуществом, а недостатком и приносит огромный вред природе, обществу и человеку<sup>200</sup>.

«Решающее значение, которое сохранила техника в строительстве коммунистической России, заимствовано из индустриально-капиталистической цивилизации и является подражанием Америке. В коммунизме, однако, воодушевление техникой приобретает зловеще эсхатологический характер»<sup>201</sup>. Мы сохраняем и сегодня почти во всех социальных и ментальных структурах реидивы технократического мышления. «Технократия предполагает между прочим административно-авторитарно сформированную и понимаемую структуру политической системы, в которой почти мистически «принудительно» приравниваются управление и узаконение. Тоталитарность технократического государства воспринимает ценность права только функционально в плане оптимизационных социально-экономических моделей»<sup>202</sup>. Эта установка на безграничный позитивный научно-технический прогресс приобрела новое дыхание в 70-е гг. XX в., когда наука стала рассматриваться в качестве непосредственной производительной силы. От науки и техники ожидалось полное удовлетворение человеческих потребностей, освобождение не только от тяжелого физического, но и от рутинного умственного труда. Особые надежды возлагались на космические исследования и достижения в области мирного использования атомной энергии. Научно-техническая политика получила особую институализацию в рамках различных социально-экономических систем, что было связано и с очевидным ростом значения науки и техники для усиления обороноспособности любой страны. Это выразилось в концепции постиндустриального общества, развиваемой на Западе, и в идеях научно-технической революции, характерных для стран социалистического лагеря.

При этом и традиционная инженерная деятельность, и научно-техническое образование в значительной степени продолжали оставаться, да и сегодня все еще остаются ориентированными на технократическую установку по отношению к окружающей среде. Все это означает призыв отнюдь не к отказу от технической деятельности, без которой человеческая цивилизация просто невозможна, а к поиску новых, более гуманных форм этой деятельности. Эту возможность представляет переориентация научно-технического мышления, прежде всего за счет изменения системы инженерного образования.

---

<sup>199</sup> DABEL-Handbuch für Erfinder und Unternehmer: von der Idee zum Produkt und zur Vollbeschäftigung. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1987, S. 327

<sup>200</sup> Естественно, что тоталитарная система может иметь не только марксистский, но и иной, например, националистический фундамент. «Нет необходимости придерживаться теории тоталитаризма», чтобы понять не только «структурно-историческое дифференцирование авторитарного, фашистского, националистического, сталинистского и послесталинистского способа господства», но и «распознать в зеркале западной массовой демократии также и общность различных тоталитарных форм господства» (Habermas Jürgen, Die nachholende Revolution. Frankfurt a. M.: Suhrkamp Verlag, 1990, S. 186).

<sup>201</sup> Бердяев Н. Указ. соч., с. 75.

<sup>202</sup> Bekkermann Jorg. Technokratie und verfassungsrechtliche Prinzipien (Einige rechtspolitologische Anmerkungen), in: Lenk Hans; Hrsg. Technokratie als Ideologie. Sozialphilosophische Beiträge zu einem politischen Dilemma, Stuttgart: Verlag V. Kahlhammer GmbH, 1973, S. 198, 211.

Воспитанные в условиях социалистической системы инженеры, весьма квалифицированно работая в собственно технической сфере, плохо представляют себе, как реализовать свои изобретения и разработки в хозяйственных структурах. Недостаточно «разрушить» старые стереотипы или выступить против существующих правил, хотя очевидно, что ни экономические «правила» ... ни социальные «правила» не соответствуют новым реалиям. Необходимо сформулировать новые правила, сформировать (не просто провозгласить) новое мышление. Это самая трудная задача, так как прежние доктрины, мифы, религии, которые когда-то способствовали устойчивости общества и окружающей среды, все еще владеют умами большинства людей, хотя уже давно перешли в разряд неверной информации. К сожалению, человек отличается от других крупных млекопитающих не только тем, что он способен мыслить, но и тем, что способен воспринимать, создавать и воспроизводить неверную информацию, верить в мифы и иллюзии, а главное, действовать в соответствии с неверной информацией. Одна из таких иллюзий — наша техногенная цивилизация, где считается, что человек может все. Еще одна иллюзия — это выдвигание на самое приоритетное место личной свободы ... Этот замечательный лозунг тоже представляет собой красивую иллюзию, особенно если она трактуется в духе «свободы от», а не «свободы для», если он и будет находиться в согласии с ответственностью не только перед современным обществом, но и перед будущими поколениями, перед всей жизнью, которая материализована в биоте нашей планеты»<sup>203</sup>.

Прежде всего, однако, необходимо изменить само представление о научно-техническом прогрессе. Современный этап развития научной и инженерной деятельности значительно отличается от подобного этапа в эпоху Возрождения и даже в начале XX в. Этот этап научно-технического прогресса часто связывался в нашей стране с развертыванием научно-технической революции, которая рассматривалась как «качественный скачок в развитии познания природы и использования человечеством ее законов, характеризующийся превращением науки в непосредственную производительную силу общества и последующим переворотом во всей системе производительных сил»<sup>204</sup>. Результатом этой революции стало огромное, невиданное до того ускорение научно-технического прогресса, в результате чего в его сферу втягиваются наука и почти все сферы деятельности современного общества (не только производство, но и обслуживание, потребление и т. д.). Поэтому первостепенное значение приобретают практическое применение данных науки, необходимость научной организации и управления самим научно-техническим прогрессом. Изменился или, точнее, обострился характер взаимоотношения общества и природы, которое становится глобальным.

Идея революционности изменений, перенесенная из социальной сферы в область науки и техники, породила множество иллюзий

---

<sup>203</sup> Горшков В. Г., Кондратьев К. Я., Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Указ. соч., с. 26.

<sup>204</sup> Философская энциклопедия. Т. 4, с. 6.

(достижение невиданного и быстрого благосостояния, грядущее освобождение от болезней, быстрое завоевание космического пространства, создание почти дармовых источников энергии, возможность научно предвидеть и устранять побочные отрицательные последствия новых технологий и т. д.) и негативных проблем: прежде всего нерациональное ускоренное использование невозобновляемых природных ресурсов, непропорциональное и несбалансированное с реальными возможностями финансирование отдельных областей науки и техники, появление новых болезней и вирусов, обусловленных, например, чрезмерным потреблением лекарств, неблагоприятной экологией и т. д. Надежды на преимущество социалистического планового пути развития экономики, техники и науки не оправдались. В результате «российская экономика оказалась структурно деформированной и неэффективной. Ее негативное воздействие на окружающую среду (в расчете на единицу производимого продукта) существенно выше, чем в технологически передовых странах. Значительная часть основных производственных фондов России не отвечает современным экологическим требованиям, а 16 процентов ее территории, где проживает больше половины населения, характеризуются как экологически неблагоприятные. Вместе с тем в России сохранился крупнейший на планете массив естественных экосистем (8 млн. км<sup>2</sup>), который служит резервом устойчивости биосферы»<sup>205</sup>.

К сожалению, эти тенденции характерны не только для России. Один из создателей атомной теории, Фредерик Содди<sup>206</sup>, еще в начале XX в. нарисовал в одной из своих лекций почти библейскую картину вечного изобилия, которое будет создано атомной энергией, предсказав, однако, космические катастрофы, вызванные преобразованиями атома. По его мнению, точно так же, как священная история началась с открытия огня, атомная трансмутация и господство атомной энергии приведут к реализации царства небесного на Земле. Содди рассматривает алхимическую мифологему философского камня, который с помощью трансмутации элементов создает жизненный эликсир как «очень точное и не в большей степени аллегорическое выражение нашего сегодняшнего способа видения – точно так же и библейский миф о рае – как свидетельство признания доисторического человека, что он однажды будет обладать способностью преобразования элементов».

Далее Содди с восхищением пророчит «непосредственное господство над природой» и реализацию земного рая с помощью достижений новой науки: «Человечеству, которое было бы способно преобразовывать элементы, не нужно зарабатывать свой хлеб в поте лица своего ... мы можем себе легко представить, что такие люди смогут сделать пустынные континенты плодородными, растопить льды полюсов и преобразовать весь земной шар в рай»<sup>207</sup>. Чем это лучше обещаний коммунистической утопии? Реализация и того и другого демонстрирует, как обещание земного рая «трансмутируется» в воссоздание ада на Земле, и некоторые его черты хорошо знакомы нам не только

---

<sup>205</sup> Россия на пути к устойчивому развитию. М.: РЭФИА, 1996, с. 8.

<sup>206</sup> «Среди верящих в прогресс ученых он символизирует собой вершину эсхатологической научной религии ...» (См.: Wagner Fr. Weg und Abweg der Naturwissenschaft. Denk- und Strukturformen, Fortschrittsglaube und Wissenschaftsreligion. München: C.H. Beck, 1970, S. 159).

<sup>207</sup> Там же, S. 160.

из собственной социальной истории, но и из не менее захватывающей истории научно-технического прогресса (пока, к счастью, лишь в отдельно взятом регионе). Чернобыльская катастрофа уже сделала пустынными многие плодородные районы Белоруссии, России и Украины. И не боимся ли мы сегодня больше всего, что в результате выбросов CO<sub>2</sub> в атмосферу и усиления антропогенного воздействия на нее мы вызовем необратимые изменения климата (глобальное потепление) и тем самым растопим льды Арктики и Антарктики, а, следовательно, уничтожим огромные жизненные пространства современного человечества? Этот процесс уже происходит медленно, но верно, что отмечают представители малых островных государств на всех последних международных конференциях по климату.

Речь должна идти не об ультрареволюционных изменениях, а о достижении и поддержании стабильного равновесия (например, общества и человека с природой), более осторожной, продуманной и осмысленной деятельности, органическом вхождении технического прогресса в культурные традиции человечества и естественное жизненное пространство. Но ориентация инженерной и хозяйственной деятельности и сегодня почти не изменилась. Казалось, технический прогресс вот-вот решит все или, по крайней мере, многие человеческие проблемы. Однако к «началу третьего тысячелетия человечество подошло в состоянии проявляющегося со всей очевидностью кризиса своей цивилизации. Современная цивилизация уже давно и полностью перешла на единые технологии все более изощренного разрушения экосистем и естественных сообществ организмов, деформации и направленных изменений окружающей среды. Научно-технический прогресс, скорость которого на 5 порядков превышает скорость создания новых «технологий» биосферы (новых биологических организмов), порождает все более мощные источники возмущения, а направляемая по преимуществу силами рынка экономика воплощает создаваемые человеком природоразрушающие технологии в хозяйственной практике»<sup>208</sup>. Русский философ Сергей Булгаков еще в 1812 г. в книге «Философия хозяйства» с горечью и тревогой отмечал: «У нашего поколения, особенно сильно захваченного этим прорывом, теряются уже всякие границы при определении возможного. «Мир пластичен», он может быть пересоздан и даже на разные лады. Мы живем под впечатлением нарастающей мощи нашего хозяйства, открывающей безбрежные перспективы для «творчества культуры»<sup>209</sup>.

Подлинное же стремление жизни, по Булгакову, заключается в том, чтобы победить, растворить в себе все неживое, механическое. «Вот почему, открывая ту или иную закономерность причин и следствий, тот или иной механизм в природе, жизнь стремится им овладеть, включить его в свой организм, и потому расширяющееся познание природы как механизма есть лишь подготовка к овладению ею как организмом. Организм есть опознанный и осознанный механизм,

---

<sup>208</sup> Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Проблемы устойчивого развития человечества. В кн.: Россия в окружающем мире: 1998 (Аналитический ежегодник). М.: Изд-во МНЭПУ, 1998, с. 39.

<sup>209</sup> Булгаков С. Н. Указ. соч., с. 110.

механизм — еще неорганизованная, хотя и имеющая быть организованной природа»<sup>210</sup>. Таков булгаковский метафизический рецепт преодоления противоречия между хозяйственной деятельностью человека, основанной на научном познании механизма природы, и самой природой (или организмом) — фактически постепенное «переваривание» искусственного в естественное, превращение механизма в организм в ходе хозяйственной деятельности человека, что коррелирует с идеями малоотходного производства, экологически чистой техники и т. п., возникшими лишь сравнительно недавно. Однако на фоне победного шествия технической цивилизации этот призыв остался гласом вопиющего в пустыне.

Сегодняшние представления о научно-техническом прогрессе, развиваемые в теории устойчивого развития, гораздо больше коррелируют с идеями Булгакова, чем с теориями, господствовавшими в начале и даже середине XX в. Согласно концепции устойчивого развития современное общество пытается не только установить равновесие общества и природы, мира природного и мира искусственного, учесть проблемы защиты окружающей среды от антропогенных воздействий, но и рассмотреть природу, окружающую человека среду как самоценный компонент этого вечного диалога, обладающий правом голоса, а в ситуации экологического кризиса — часто даже правом первого голоса. И эта установка постепенно приобретает все больше сторонников в условиях приближающейся экологической катастрофы, грозящей гибелью всему человечеству. «Итак, причина эколого-социального кризиса — столкновение цивилизации с внешними границами. Главная проблема именно в том, что расширяющееся, причем в геометрической прогрессии, воздействие цивилизации на биосферу угрожает экологической катастрофой. В результате катастрофы окружающая среда изменится таким образом, что человечество как биологический вид существовать в ней не сможет. Согласно экологическому подходу, *устойчивое развитие* — это такое развитие, которое не выводит систему за пределы хозяйственной емкости биосферы. Оно не вызывает в биосфере процессов разрушения, деградации, результатом которых может стать возникновение принципиально неприемлемых для человека условий. Удивительно, но до сих пор не только множество людей, но и большинство экологов не замечают и не понимают, в чем заключаются основные антропогенные изменения, произведенные человеком за время цивилизации, и в особенности за XX век. Самое главное изменение, которое произвел человек, — это разрушение естественных экосистем на огромной территории суши с целью все большего замыкания на себя потока энергии, протекающего в биосфере»<sup>211</sup>. Изменение исходной бэконовской установки на безудержный научно-технический прогресс сдерживается общими хозяйственными установками современного общества, иллюзиями возможности создания общества всеобщего потребления, стихийным

---

<sup>210</sup> Булгаков С. Н. Указ. соч., с. 160.

<sup>211</sup> Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С. Указ. соч., с. 42–43, 47.

стремлением к наращиванию производства и перепроизводства все новых и более изощренных продуктов потребления, поскольку основными функциями всякого хозяйства являются производство и потребление.

Именно посредством связи науки, техники и хозяйства реализуется лозунг «Знание — сила». Такая связь, с одной стороны, приводит к капитализации знаний, а с другой — к росту зависимости даже «чистой» науки от техники и хозяйства. Человек становится центром мира, его хозяйственная деятельность представляется как «новая сила природы, новый мирообразующий фактор, принципиально отличный притом от всех остальных сил природы». Технология, по Булгакову, — это «совокупность всех возможных способов воздействия человека на природу в определенных, наперед намеченных целях». Сама возможность технологии заключена в принципиальной доступности природы человеческому воздействию. Природа рассматривается как пассивное, а человек — как активное и сознательное начало, и в этом смысле он становится центром мироздания, подчиняя себе остальную природу, а «его потенциальное мировладение ... частично и постепенно осуществляется в хозяйственном процессе». Но человек не равен Богу, он «не обладает всемогуществом, способностью творить из ничего все, чего захочет»<sup>212</sup>. Человек действует свободно и оригинально, лишь изобретая способ использования своей природы, но его собственную природу, как и окружающий мир, он имеет как данные.

Хозяйственная деятельность человека предполагает теоретическую ориентировку в окружающем его и изменяемом им мире. В ней создаются не только логические модели действительности, но и проекты воздействия на эту действительность. Однако наука не может и не дает исчерпывающих рецептов и знаний. Научные знания не только преходящи и изменчивы, подвержены уточнению и углублению в ходе прогресса науки и техники, но и являются принципиально ограниченными, человеческими знаниями. В особенности это относится к естествознанию, которое «вырезывает из живого организма куски действительности, чтобы затем в них ориентироваться, устанавливая в них механическую закономерность. А затем из этих вырезанных кусков она обратно складывает, конечно, уже мертвую природу», т. е. изучает фактически «труп природы» и потому разрушает единство, цельность, непрерывность жизни природы, претендуя, однако, на то, чтобы, хотя и в идеале, «составить исчерпывающий инвентарь мирового бытия». Но это всего лишь иллюзия, подкрепляемая верой в то, что реальность науки и живая действительность тождественны. Такая иллюзия, вера в безграничную силу науки внушается современному человеку с детства самой системой «научного» образования, сходного с «мифологическим» образованием прошлого, развивающим не критическое отношение к результатам научного исследования. В этом отношении магия и наука одинаковы в своих устремлениях покорить природу: первая — с помощью заклинаний, волшебства и колдовства,

---

<sup>212</sup> Булгаков С. Н. Указ. соч., с. 88, 89, 112.

вторая — применяя число и меру, математизируя природоведение и саму природу. «Создается и крепнет, таким образом, предрассудок, будто научное отношение к действительности и есть самое глубокое и подлинное, причем совершенно забывается о преднамеренной ограниченности науки»<sup>213</sup>.

Современный этап развития науки и техники наглядно продемонстрировал границы, за которыми наука и техника, сегодняшняя или будущая, сталкивается с неразрешимыми для нее, или, точнее, самую ею развитыми научными и техническими проблемами. Рассмотрим основные ограничения и парадоксы, возникшие в современной науке и технике в ходе ее поступательного «прогрессивного» развития в последние десятилетия.

Развитие представления о научно-техническом прогрессе связано с идеей проектируемости всего и вся, т. е. принципиальной возможности и даже необходимости реализовать, осуществить, исполнить все, что задумано, замыслено, запроектировано в научных разработках и что по умолчанию является благом для человечества. Это связано с иллюзией того, что наука способна раньше или позже с достаточной степенью точности предсказать, предусмотреть, предвидеть и, по крайней мере, свести к минимуму всякие негативные последствия научных проектов. Это тотальное проектирование привело вначале к безграничному расширению содержания проектирования, доводящему идею проектной культуры до абсурда и приведшему, в конечном счете, к осознанию ее границ.

Речь идет даже о создании некоей «универсальной теории проектирования», которая должна позволить применять все наработанные человечеством знания для создания новых искусственных продуктов и систем — артефактов. Основная идея этой теории базируется на том, что «не существует реальных различий между процессами проектирования в области инженерных продуктов, в архитектуре или строительстве, химии, микроэлектронике или микромеханике и т. д. Каждый искусственный объект в мире, т. е. все, что неестественно, должно быть спроектировано человеческими существами — и вопрос заключается в том, существуют ли общие методы это сделать? Эту концепцию мы называем теорией проектирования. Размышления о теории проектирования включают вопрос об определении границ этой системы. Артефакты точно так же имеют место в биологии, генетике или даже в проектировании законов. Мы ограничим сферу дискуссии неживыми артефактами, — написано в предисловии к материалам конференции по универсальной теории проектирования, проходившей в 1998 г. в г. Карлсруэ (ФРГ), — а также исключим такие искусства, как музыка — тем не менее, было бы весьма интересно исследовать вопрос о том, как проектируется музыка. Целью данной конференции было обсудить предмет и увидеть, как может быть достигнуто общее понимание, которое привело бы к созданию и применению Универсальной Теории Проектирования». В этом случае объектом проектирования становятся не только машины и технические или человеко-машинные системы, но и материалы, из которых они созданы, химические соединения и даже молекулы<sup>214</sup>.

<sup>213</sup> Булгаков С. Н. Указ. соч., с. 154–155.

<sup>214</sup> См.: Universal Design Theory. Proceedings of the Workshop, Karlsruhe, Germany; May 1998. Ed. By Grabowski, S. Ryde, G. Grein. Aachen: Shaker Verlag, 1998.



Выяснилось, что научное человеческое знание не способно научно все предвидеть, — можно лишь предусмотреть определенную степень риска новых научных технологий. Одновременно стал интенсивно разрабатываться вопрос этики инженера и моральной ответственности ученого за свои открытия и изобретения, особенно после изобретения и испытания атомной бомбы. Была разрушена, например, и иллюзия того, что создатель отдельного элемента сложной технической системы несет лишь ограниченную ответственность за всю систему в целом. При распространении «естественнонаучного» взгляда на социальное и организационное проектирование как создание социотехнических систем (локальных и глобальных социальных структур) пришлось осознание сначала того, что социально-технические системы нельзя проектировать, исходя лишь из технических требований и методов, а затем и того, что их вообще нельзя проектировать в традиционном смысле этого слова, и необходимо переосмыслить само понятие «проектирование».

В связи с развитием новейших информационных и компьютерных технологий произошло усиление теоретического измерения в сфере техники и инженерной деятельности, своего рода размывание границ между исследованием и проектированием. Возник вопрос, могут ли информационные системы быть морально ответственными, если знание в них становится «обезличенным». В рамках биотехнологии и генной инженерии особенно остро стала осознаваться необходимость развития научной и инженерной этики, являющейся частью естественнонаучного и инженерного исследования, особенно явно выявились внутренние границы научно-технического развития, обусловленные биологической природой самого человека. Развитие экологических технологий и выработка новой «философии» устойчивого развития привели к осознанию внешних границ научно-технического развития для человечества в рамках биосферы. Все эти ограничения, накладываемые современной наукой и техникой на исследования и разработки, показали, что традиционное представление об этической «нейтральности» научных исследований и «безграничности» научно-технического прогресса не соответствует современным требованиям и что настоятельно необходимо изменить стратегию научно-технического развития. «Научное познание и технологическая деятельность ... предполагает учет целого спектра возможных траекторий развития всегда сталкивается с проблемами выбора определенного сценария развития из множества возможных сценариев. И ориентирами в этом выборе служат не только знания, но и нравственные принципы, налагающие запреты на опасные для человека способы экспериментирования и преобразования. Сегодня все чаще комплексные исследовательские программы и технологические проекты проходят социальную экспертизу, включающую этические компоненты. Эта практика соответствует новым идеалам рационального действия У человечества есть шанс найти выход из глобальных кризисов, но

для этого придется пройти через эпоху духовной реформации и выработки новой системы ценностей»<sup>215</sup>.

Наиболее наглядный пример ограничений в ходе научного технического развития демонстрирует атомная энергетика. Фридрих Дессауэр, один из первых известных немецких философов техники, радиолог по специальности, рассматривает эту тему в книге «Атомная энергия и атомная бомба» (1948 г.). В конце книги он пишет: «Надежность и безопасность в пространстве естественнонаучного исследования и технического конструирования является фактором, формирующим нынешнее поколение и выросший в пространстве естественнонаучного исследования и техники новый слой общества, который захватит общественную власть. Естественнонаучное исследование и техника делают мировую историю». (Он отмечает, однако, что в то же время у ученых-естествоиспытателей и инженеров часто отсутствует интерес к сохранению каких-либо исторически-гуманистических традиций.) «Общественная проблематика, связанная с открытием и техническим овладением энергией распада, не является больше национальной, она становится проблематикой всего мирового сообщества»<sup>216</sup>. Этот факт накладывает особый отпечаток на обсуждение безопасности ядерной энергетике и ответственности ученых, инженеров и политиков за эту безопасность.

Атомная энергетика до катастрофы на Чернобыльской АЭС считалась надежным и перспективным направлением развития энергетики. Казалось, что преобразование элементов и расщепление атомного ядра представляет собой реализацию давней мечты алхимиков о трансмутации природных материалов и является практическим приближением к созданию рая на земле. Однако сегодня во многих странах, например в Германии, ставится вопрос о закрытии атомных электростанций. Кроме того, остаются нерешенными вопросы переработки и окончательного захоронения ядерных отходов. Причем стоимость их переработки и захоронения, как правило, не включается в стоимость строительства самих станций. Никто не предвидел последних возможных аварий на атомных станциях (не только экологических, но и финансовых). Поэтому развитие атомной энергетике – один из наиболее ярких примеров непредсказуемости и неконтролируемости последствий научно-технического прогресса, продолжающего «агрессивную» линию развития техники.

Зарождение «мирного» атома происходило как становление побочной ветви военно-промышленного комплекса с целью использования атома в военных целях мирным его применением.

«Создание атомной энергетике стало возможным благодаря двум открытиям, сделанным в конце 30-х гг. В 1938 г. два немецких химика, О. Хан и Ф. Штрассман, открыли деление ядер урана под воздействием медленных нейтронов. Этот процесс, названный тогда расщеплением, должен был сопровождаться выделением огромного количества ядерной энергии. В следующем году итальянский физик, Нобелевский лауреат Э. Ферми, эмигрировавший в США, сформулировал идею осуществления управляемой цепной реакции при делении ядер урана, т. е. процесса, который, однажды начавшись, обеспечивает условия для своего продолжения. Эти открытия, сделанные накануне второй мировой войны, были использованы для обоснования и практических работ по созданию атомного оружия. ... В 1940 г. было теоретически установлено, что уран-238, из которого в основном состоит природный уран, поглощая лишние нейтроны, должен превратиться в новый элемент, получивший название «плутоний». Его изотоп –

---

<sup>215</sup> Степин В. С. Устойчивое развитие и проблема ценностей. В сб.: Техника, общество и окружающая среда: материалы междунар. науч. конф. (18–19 июня 1998). М.: ИФРАН, МНЭПУ, 1998, с. 19, 20.

<sup>216</sup> Dessauer Fr. Atomenergie und Atombombe. Frankfurt am Main: Verlag Josef Knecht, 1948, S. 284, 286, 292.

плутоний-239 — является превосходным расщепляющим материалом; пригодным для изготовления атомного оружия. Плутоний можно было получить во время управляемой ядерной реакции в специально созданном ядерном реакторе. Управляемая ядерная энергия сулила уникальные возможности. Появилась идея использовать ее для создания ядерных энергетических установок для военно-морского подводного флота и как энергоисточник для выработки тепла и электроэнергии.... начался этап освоения «мирного» атома. Ядерная энергетика заимствовала все достижения науки и техники, полученные при создании ядерного оружия. ... К сожалению, во всем мире в тот период при выработке идеологии ядерной энергетике не закладывалось понятие предотвращения возможности возникновения запроектной аварии с выходом радиоактивности за пределы рабочей площадки»<sup>217</sup>.

«Мирное» (вторичное, второстепенное, оправдательное) использование разработанной для военных целей техники неизбежно несет на себе отпечаток второстепенного побочного продукта. Как и при ведении военных действий, мирное использование военных технологий предполагает как само собой разумеющееся определенный процент жертв.

Инженерная деятельность создала многое, без чего немыслима наша цивилизация. Инженеры и конструкторы сделали реальным то, что ранее казалось сказочным и фантастическим и чему теперь мы перестали удивляться (полеты человека в космос, телевидение и т. д.) и что изменило сам образ жизни людей. Но в содружестве с учеными они разработали и изощренные технические средства уничтожения людей. И хотя часто утверждают, что техника этически нейтральна, ее создатели несут ответственность за ее вредоносное использование.

Еще великий Леонардо да Винчи был всерьез обеспокоен возможным нежелательным использованием своих изобретений. Развивая идею аппарата подводного плавания, он писал: «я не хочу опубликовать и предать гласности это дело из-за злой природы человека, который мог бы использовать его для совершения убийств на дне морском путем потопления судов вместе со всем экипажем»<sup>218</sup>.

Конечно, можно обосновать необходимость создания нового оружия идеологически, соображениями государственной безопасности, экономического выживания в условиях рыночной конкуренции и т. д., однако все это не снимает проблемы индивидуальной ответственности ученого и инженера не только перед нынешним, но и перед будущими поколениями.

Никакие ссылки на государственную, экономическую или техническую целесообразность и высшие научные интересы не могут оправдать морального и материального ущерба, который может быть нанесен человеку и окружающей среде. После чернобыльской катастрофы произошел поворот в мировоззрении, появилось осознание

---

<sup>217</sup> *Меньшиков В. Ф.* Россия с атомной энергетикой и без нее. В кн.: Россия в окружающем мире: 1998 (Аналитический ежегодник). М.: Изд-во МНЭПУ, 1998, с. 137–138.

<sup>218</sup> *Арзаканян Ц. Г.* Проблемы преемственной связи Возрождения с «эпохой научной революции» // Вопросы истории естествознания и техники, 1984, № 2, с. 132.

необходимости привлечения независимых и незаинтересованных экспертов для оценки безопасности техники, а также ограниченности человеческого познания и возможностей научного предсказания.

Первоначально атомная техника считалась блестящим примером непосредственной триумфальной реализации положений физической теории в технической практике. Однако миф о ее надежности был развеян серией аварий, и сегодня стало уже ясно из изучения действительной истории ее развития, что безопасная техника является плодом переосмысления этих исходных положений на основе длительного и часто драматического практического опыта ее внедрения и эксплуатации<sup>219</sup>. Постепенно осознается также различие в положении создателей АЭС (не находящихся в случае аварии в зоне опасности), сотрудников АЭС (работающих на этом радиационно опасном объекте) и жителей в ближайшей и удаленной зонах (часто не представляющих, какой опасности они подвергаются); осознается также необходимость информирования населения и политических кругов о положении дел на АЭС и вокруг нее, отклонениях от нормы и чрезвычайных ситуациях. При создании и эксплуатации атомных электростанций сталкиваются ведомственные, государственные и общечеловеческие интересы, поэтому важны независимая (от эксплуатирующих организаций, организаций – разработчиков станций, организаций, призванных устранять последствия аварии, заинтересованных научно-исследовательских и проектных институтов и т. п.), но квалифицированная оценка проектов, наблюдение за радиационно опасными объектами, а также интернационализация информационного обмена о радиационной ситуации.

Решающее значение приобретает возможность свободного доступа к информации и на его основе свободного выбора индивида (а не выбора «за него») как важнейшего принципа демократического общества. Осознается необходимость создания надежной и безопасной техники и оценки ее возможных отрицательных последствий не только *после* ее создания, но и в *процессе* ее проектирования и создания. Кроме того, в западной литературе серьезно обсуждается проблема «делаемости» в современной технике — не все, что можно сделать с помощью современной науки и техники, следует реализовывать<sup>220</sup>.

Техника как предпосылка и в то же время как результат научного исследования в сочетании с поддерживающими их хозяйственными и государственными структурами воспринимается сегодня как мировая сила, основывающаяся на принципе реализации всех вещей посредством науки. Создается как бы ее новая, «вторичная» реальность, которая ведет к потере исходной первичной реальности мира природы, человека и духа. Манипуляция природными ресурсами, вплоть до искусственного преобразования организмов и растений, да и самого человека, может в будущем привести к генетической катастрофе. Таким образом, человек в процессе сциентификации и технизации, руководствуясь безудержным стремлением к господству над природой, разрушает естественные и социальные границы и (особенно в сочетании с постоянно прогрессирующим экономическим ростом)

---

<sup>219</sup> Radkau J. Die Kerntechnik als historisches Individuum und als Paradigma. Zum Modellcharakter der Geschichte großtechnischer und anderer Systeme. In: Technik and Gesellschaft: Jahrbuch. Frankfurt a.M.; N.Y. Campus Verlag, 1992, S. 73–112.

<sup>220</sup> Lenk H. Macht und Machbarkeit der Technik. Stuttgart: Reclam, 1994.

угрожает существованию не только самого человечества, но и всей биосферы Земли. Такого рода научно-технический прогресс трансформируется в конечном счете в регресс прежде всего в экологической сфере, приводит к разрушению защитных сил окружающей среды и человеческого организма. Его можно сравнить с ящиком Пандоры, приносящим человечеству не только благодатные дары, но и неисчислимые бедствия и болезни.

Атомная техника, химическая технология и генная инженерия, основывающиеся на достижениях соответственно ядерной физики, синтетической химии и молекулярной биологии, особенно глубоко внедряются в природные процессы и структуры, манипулируя уже не непосредственно ощутимыми феноменами, а именно этой «вторичной» научной реальностью, создавая новые комбинации чуждых «первичной» природе материалов, элементов и организмов. При этом абсолютно непредсказуемыми и часто необратимыми оказываются последствия такого рода искусственного вторжения в естественную сферу. Альтернативой подобному техническому действию становится создание новой парадигмы в науке и технике, ориентированной на безболезненность таких вторжений в природу на базе равноправных партнерских взаимоотношений между ней и человеком<sup>221</sup>.

Предстоящий этап развития современной науки и техники иногда обозначается как альтернативное разграничение «жестких» и «гибких» естествознания и техники. Понятие «гибкой» (или «смяченной») науки и техники возникло в связи с критикой традиционной «жесткой» («суровой» по отношению к природе) химии, в ходе попыток свести к минимуму появление побочных продуктов химических производств, например диоксинов, которые могут оказаться (и действительно оказываются) губительными для окружающей среды и человеческого организма, выбросы вредных веществ в атмосферу, а также загрязнения воды и почв отходами производства<sup>222</sup>. Точно так же и в биологии можно различать эволюционную биологию, рассматривающую организм как продукт длительной истории, и функциональную биологию, основывающуюся на принципах математизированного экспериментального естествознания (к последней относятся, например, генетика и экспериментальная молекулярная биология)<sup>223</sup>. «Жесткие» естествознание и техника ориентируются на идеалы научной рациональности и технического действия, выработанные идеологами классического естествознания Галилеем, Бэконом, Ньютоном и Декартом, но действующие, хотя и в измененном виде, и в рамках неклассической науки. «Физика 20 столетия весьма ясно показала, что в науке не существует абсолютной истины, что все наши пред-

---

<sup>221</sup> Von Gleich A. Der wissenschaftliche Umgang mit der Natur. Über die Vielfalt harter und sanfter Naturwissenschaften. Frankfurt, N.Y.: Campus Verlag, 1989.

<sup>222</sup> Von Gleich A. Указ. соч., S. 103–131. См. также: Fischer H. Plädoyer für eine Sanfte Chemie: über die nachhaltige Gebrauch der Stoffe. Braunschweig: Alembik-Verl., 1993.

<sup>223</sup> Von Gleich A. Указ. соч., S. 160–171.

ставления и теории являются в ограниченной степени соответствующими истине и лишь приближающимися к ней». Эти представления, несомненно, сыграли свою положительную историческую роль, но привели к формированию своего рода «жесткой науки» и развитию базирующейся на ней «жесткой технологии». «Только к середине 20 века стало ясно, что представление о жестком естествознании было частью картезианско-ньютонианской парадигмы, парадигмы, которая должна быть преодолена»<sup>224</sup>.

Приведем сравнительную таблицу характерных признаков «жесткой» и «гибкой» технологии<sup>225</sup>:

Таблица 3

### Признаки «жесткой» и «гибкой» технологий

«Жесткая» технология	«Гибкая» технология
Экологически опасна	Экологически приспособлена
Высокое энергопотребление	Низкое энергопотребление
Высокая степень загрязнения	Низкая степень загрязнения
Одноразовое использование материалов и энергии	Ресайклинг (многократное использование материалов и энергии)
Тесные временные рамки	Широкие временные рамки
Массовое производство	Акцент на ручную ремесленную работу
Высокая степень специализации	Невысокая степень специализации
Главным образом городская среда	Главным образом деревенская среда
Отчуждение природы	Интеграция с природой
Ориентация на технические ограничения экономического порядка	Ориентация на технические ограничения природного порядка
Мировая торговля	Натуральный региональный обмен
Разрушение региональной культуры	Сохранение локальной культуры
Злоупотребления технологическими возможностями	Предохранение от злоупотребления технологическими возможностями
Деструктивность по отношению к другим живым существам	В зависимости от расцвета иных жизненных форм
Инновационность, выигрывающая за счёт прибыли и войны	Инновационность, мотивированная потребностями
Ориентация на хозяйственный рост	Нулевой хозяйственный рост
Централизованная	Децентрализованная
Производительность возрастает с ростом размеров	Производительность возрастает посредством ограничения
Частые серьезные технические аварии	Редкие и незначительные аварии

<sup>224</sup> Capra F. *Wendezeit. Bausteine für ein neues Weltbild*. Berlin, München, Wien & Scherz, 1983, S. 56, 68 (Capra F. *The Turning Point*. 1982). Это различие родилось в процессе философского обоснования политики зеленых партий прежде всего в США и в ФРГ и имело последствия как в политике (связанные с развитием идей экологических технологий, минимального использования невозобновимых ресурсов, отказа от энергоемких производств и программ атомной энергетики), так и в технологической и хозяйственной практике (попытки создания экологически щадящих, например химических, производств, скажем, красителей на органической основе. См.: Fischer H. *Plädoyer für eine Sanfte Chemie: über die nachhaltige Gebrauch der Stoffe*. Braunschweig: Alembik-Verl., 1993). Следует отметить, что все эти попытки встречают сопротивление промышленного лобби и часто не являются еще достаточно конкурентоспособными.

<sup>225</sup> Dickson D. *Alternative Technologie. Strategien der technischen Veränderung*. München: Trikont Verlag, 1978, S. 89–91.

Фактически этап перехода от «жестких» к «гибким» технологиям и естествознанию можно считать этапом рождения «постнеклассической» науки и техники. На этом этапе происходит переход к исследованию и созданию «человекоразмерных» систем, при котором «поиск истины оказывается связанным с определением стратегии и возможных направлений преобразования» таких систем, что непосредственно обусловлено гуманистическими ценностями. «С системами такого рода нельзя свободно экспериментировать. В процессе их исследования и практического освоения особую роль начинают играть запреты на некоторые стратегии взаимодействия, потенциально содержащие в себе катастрофические последствия»<sup>226</sup>. Речь идет о выработке совершенно новой парадигмы научно-технического развития. С точки зрения этой парадигмы совершенно недостаточно, чтобы естествоиспытатель обращался с природой мягче, чем в рамках классической или даже неклассической парадигмы (т. е. осторожно выводил ее тайны, чтобы использовать полученное знание для своих целей, а не жестоко пытал ее, загнав в пыточную камеру научной лаборатории). Он должен постоянно анализировать собственную научно-техническую деятельность, соотнося свои действия с исследуемой им природой, которая должна восприниматься им не как безжизненный объект манипулирования, а как живой организм, способный иметь собственное мнение и свободу действий, а иногда и неоднозначно отвечать на некорректно и слишком жестко поставленные исследователем и проектировщиком вопросы — в экстремальных случаях даже катастрофами, вызванными неадекватной технической реализацией, основанной на слишком жесткой и самоуверенной научной предпосылке.

Сам этот объект — природа, — которым пытаются манипулировать (часто безуспешно) ученый и инженер, не существует отдельно от общественного организма, в интересах которого в конечном счете действует или должна действовать любая наука и техника. «... Это уже не та природа, которая миллионы лет до нас существовала на Земле ... а природа, которая «социально конструирована»<sup>227</sup>. Сегодня ставится даже проблема управления окружающей средой так, чтобы «технологическое и социально-экономическое развитие в будущем не порождало неожиданных («шоковых») ситуаций для общества»<sup>228</sup>. При этом не следует забывать, что в эту окружающую среду включен и сам человек, который от нее зависит. Поэтому «исследуемый объект» включает в себя обладающие правом на самостоятельное мнение и действия субъекты, интересы которых могут затрагивать конкретные научные проекты. Эксперты-специалисты обязаны учитывать это уже на стадии предварительной оценки последствий новейших научных и

---

<sup>226</sup> Степин В. С. *Философская антропология и философия науки*. М.: Высшая школа, 1992, с. 186.

<sup>227</sup> *Soziale Naturwissenschaft. Wege zu einer Erweiterung der Ökologie*. (Ursrg.) G. Böhme, E. Schramm. Frankfurt a.M.: Fischer, 1984, S. 6.

<sup>228</sup> Лосев К. С., Горшков В. Г., Кондратьев К. Я. и др. *Проблемы экологии России* /Отв. ред. В.И. Данилов-Данильян, В.М. Котляров. М., 1993, с. 40.

инженерных технологий. Следовательно, производство научного знания неотделимо от его применения, а вместе они неотделимы от этики ученого и инженера, что неизбежно приводит к тому, что новое естествознание становится социально ориентированным. «Такого рода расширение традиционной естественной и технической науки» призвано «изменить самосознание ученых от стремления к господству над природой к осторожному или даже бережному обращению с ней» и предполагает необходимость «интегрировать социально-научные элементы в естественно-научное рассмотрение», чтобы адекватно учитывать освоение природы человеком<sup>229</sup>. Практически созданные человеком технологии оказались многоотходными и направленными в основном на индустрию синтеза, «а функции разложения возложены по большей части на природу, которая в доиндустриальную эпоху достаточно успешно справлялась с этой задачей. Но с быстрым расширением хозяйственной деятельности природа перестала справляться с поставленной задачей»<sup>230</sup>.

---

<sup>229</sup> Soziale Naturwissenschaft, S. 5, 10, 15.

<sup>230</sup> Лосев К. С., Горшков В. Г., Кондратьев К. Я. и др. Указ. соч., с. 68–69.



## СПИСОК РЕКОМЕНДУЕМОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

---

- Айер А. Дж.* Философия и наука/Вопросы философии, 1962, № 1.  
Аналитическая философия: становление и развитие. М.: Прогресс-Традиция, 1998.
- Ахутин А. В.* История принципов физического эксперимента от античности до XVII в. М.: Наука, 1976.
- Бернал Д.* Наука в истории общества. М., 1958.
- Блауберг И. В., Юдин Э. Г.* Становление и сущность системного подхода. М.: Наука, 1973.
- Боголюбов А. Н.* История механики машин. Киев.: Наукова Думка, 1964.
- Боголюбов А. Н.* Теория механизмов и машин в историческом развитии ее идей. М.: Наука, 1976.
- В поисках теории развития науки. (Очерки западноевропейских и американских концепций XX века). М.: Наука, 1982.
- Вебер М.* Избранные произведения. М., 1990.
- Витгенштейн Л.* Логико-философский трактат. М.: Ин. лит., 1958.
- Гайденко П. П.* Эволюция понятия науки (XVII—XVIII вв.). М.: Наука, 1987.
- Гайденко П. П.* Эволюция понятия науки. Становление первых научных программ. М.: Наука, 1980.
- Геленсдорф П., Пригожин И.* Термодинамическая теория структуры, устойчивости и флуктуаций. М., 1973.
- Гильберт Д.* Основания геометрии. М.: Изд-во АН СССР, 1948.
- Горшков В. Г., Кондратьев К. Я., Данилов-Данильян В. И., Лосев К. С.* Окружающая среда: от новых технологий к новому мышлению. М., 1994.
- Гуковский М. А.* Механика Леонардо да Винчи. М.-Л.: АН СССР, 1947.
- Зинченко В. П., Мунипов В. М.* Основы эргономики. М., 1979.
- Зубов В. П.* Аристотель. М.: АН СССР, 1963.
- Зубов В. П.* Леонардо да Винчи. М.: АН СССР, 1961.
- Иванов В. И., Чешев В. В.* Становление и развитие технических наук. Л., 1977.
- Инженерно-психологическое проектирование. М., 1970, вып. 1 и 2.  
Исследования по общей теории систем. М., 1969.
- Карнап Р.* Значение и необходимость. М.: Ин. лит., 1959.
- Карнап Р.* Философские основания физики. М.: Прогресс, 1971.
- Козлов Б. И.* Возникновение и развитие технических наук. Л., 1988.
- Койре А.* Очерки истории философской мысли. О влиянии философских концепций в развитии теорий. М., 1985.

- Коммуникация в современной науке. М.: Прогресс, 1976.
- Кун Т. Вторичные размышления о парадигме. В кн.: Научные теории: структура и развитие. М.: Прогресс, 1975.
- Кун Т. Структура научных революций. М.: Прогресс, 1975.
- Лакатос И. Доказательства и опровержения. М.: Наука, 1967.
- Лакатос И. История науки и ее рациональные реконструкции. В кн.: Структура и развитие науки. М.: Прогресс, 1978.
- Лакатос И. Фальсификация и методология научно-исследовательских программ. М.: Медиум, 1995.
- Ле Гофф, Жак. Интеллектуалы в средние века. Долгопрудный: Аллегро-Пресс, 1997.
- Лосев К. С., Горшков В. Г., Кондратьев К. Я. и др. Проблемы экологии России (отв. ред. В. И. Данилов-Данильян, В. М. Котляр). М., 1993.
- Механика и цивилизация в XVII—XIX вв. М., 1979.
- Мирский Э. М. Междисциплинарные исследования и дисциплинарная организация науки. М.: Наука, 1980.
- Наука о науке. М.: Наука, 1966.
- Научная деятельность: структура и институты. М.: Прогресс, 1980.
- Огурцов А. П. Дисциплинарная структура науки. М., 1988.
- Онтология и эпистемология синергетики. М.: ИФРАН, 1997.
- От логического позитивизма к постпозитивизму. Хрестоматия. М.: НИИВО—ИНИОН, 1993.
- Очерки истории естественнонаучных знаний в древности. М.: Наука, 1982.
- Очерки по истории и теории развития науки. М.: Наука, 1969.
- Пахомов Б. Я. Становление современной физической картины мира. М.: Мысль, 1985.
- Печенкин А. А. Взаимодействие физики и химии. М.: Мысль, 1986.
- Позитивизм и наука. М.: Наука, 1975.
- Полани М. Личностное знание. М., 1985.
- Поппер К. Р. Логика и рост научного знания. М., 1983.
- Пригожин И. От существующего к возникающему. М., 1985.
- Пригожин И., Стенгерс И. Время, хаос, квант. К решению парадокса времени. М.: Прогресс, 1994.
- Пригожин И., Стенгерс И. Порядок из хаоса. Новый диалог человека с природой. М.: Прогресс, 1986.
- Проблемы теории проектирования предметной среды. Труды ВНИИТЭ. Техническая эстетика. М., 1974, вып. 8.
- Рабинович В. Л. Алхимия как феномен средневековой культуры. М.: Наука, 1979.
- Райхенбах Г. Направление времени. М.: Ин. лит., 1962.
- Рассел Б. История западной философии. М., 1959.
- Рассел Б. Человеческое познание. Его сферы и границы. М.: Ин. лит., 1957.

- Рожанский И.Д.* Развитие естествознания в эпоху античности. М.: Наука, 1979.
- Розин В.М.* Специфика и формирование естественных, технических и гуманитарных наук. Красноярск, 1989.
- Рузавин Г.И.* Математизация научного знания. М.: Мысль, 1984.
- Рьюз М.* Философия биологии. М.: Прогресс, 1977.
- Садовский В.Н.* Основания общей теории систем. М.: Наука, 1974.
- Симоненко О.Д.* Электротехническая наука в первой половине XX века. М., 1988.
- Системные исследования. Ежегодник 1970–1978. М.: Наука, 1970–1978.
- Системные исследования. Методологические проблемы. Ежегодник 1979–1984. М.: Наука, 1979–1984.
- Современная западная социология науки. М., 1988.
- Современная философия науки. Хрестоматия. М.: Наука, 1994.
- Степин В.С.* Становление научной теории. Минск: Изд-во БГУ, 1976.
- Степин В.С., Горохов В.Г., Розов М.А.* Философия науки и техники. М.: Гардарики, 1996.
- Степин В.С., Кузнецова Л.Ф.* Научная картина мира в культуре техногенной цивилизации. М.: ИФРАН, 1994.
- Степин В.С.* Философская антропология и философия науки. М.: Высшая школа, 1992.
- Тоффлер Э.* Третья волна. М.: АСТ, 1999.
- Трахтенберг О.В.* Очерки по истории западноевропейской средневековой философии. М., 1957.
- Тулмин С.* Концептуальные революции в науке. В кн.: Структура и развитие науки. М.: Прогресс, 1978.
- Тулмин С.* Человеческое понимание. М., 1984.
- У истоков классической науки. М.: Наука, 1968.
- Уайтхед А.* Избранные труды по философии. М., 1990.
- Фейерабенд П.* Избранные труды по методологии науки. М., 1986.
- Фейерабенд П.* Ответ на критику. В кн.: Структура и развитие науки. М.: Прогресс, 1978.
- Философия техники в ФРГ. М.: Прогресс, 1989.
- Философия техники: история и современность. М.: ИФРАН, 1997.
- Философия физики элементарных частиц. М.: ИФРАН, 1995.
- Философские вопросы технического знания. М.: Наука, 1984.
- Франк Ф.* Философия науки. М.: Ин. лит., 1960.
- Хакен Г.* Информация и самоорганизация. М., 1991.
- Хакен Г.* Синергетика. М., 1980.
- Хакен Г.* Синергетика: иерархия неустойчивости в самоорганизующихся системах. М.: Мир, 1985.
- Хилл Т.И.* Современные теории познания. М.: Прогресс, 1965.
- Холтон Д.* Тематический анализ науки, М., 1981.

- Чешев В. В.* Технические науки как объект методологического анализа. Томск: Изд-во Томского ун-та, 1981.
- Швырев В. С.* Неопозитивизм и проблема эмпирического обоснования науки. М.: Наука, 1966.
- Шлик М.* Время и пространство в современной физике. В кн.: Теория относительности и ее философское истолкование. М., 1923.
- Щедровицкий Г. П.* Избранные труды. М., 1995.
- Эстетика ренессанса. Т. 1. М.: Искусство, 1981.
- Юдин Э. Г.* Системный подход и принцип деятельности. М.: Наука, 1978.
- 50 лет волн Герца. М.-Л.: АН СССР, 1988.
- 50 лет радио. Вып. 1. Из предистории радио. Сборник оригинальных статей и материалов. М.-Л.: АН СССР, 1948.
- J. Y. J. van der Pot.* Die Bewertung des technischen Fortschritts: eine systematische Übersicht der Theorien. Assen; Maastricht, Niederlanden: Van Gorcum & Comp., 1985.
- Technik und Kultur. Bd. 1. Technik und Philosophie. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1990.
- Technik und Kultur. Bd. 2. Technik und Religion. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1990.
- Technik und Kultur. Bd. 3. Technik und Wissenschaft. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1991.
- Technik und Kultur. Bd. 5. Technik und Bildung. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1989.
- Technology and Responsibility. Philosophy of Technology, vol. 3. Dordrecht: D. Reidel, 1987.
- Technik und Ethik. Stuttgart: Reclam, 1987.
- Technological Development and Science in the Industrial Age. New Perspectives on the Science – Technology Relationship. Dordrecht: Kluwer Academic Publishers, 1992.

## ПОСЛЕСЛОВИЕ

---

Завершая эту книгу, мы хотели бы оставить вопрос о перспективах развития современного естествознания и техники открытым. Научное прогнозирование в этой области — дело весьма неблагодарное. Многие философские системы, пытавшиеся это сделать вместо самой науки и техники, мягко говоря, не были успешными. Да и сама наука и техника часто ошибается в прогнозах развития даже узких своих областей. Охватить современную науку и технику в целом, все ее достижения не под силу сегодня даже отдельным гениальным личностям. Предначертание же будущего — задача научной фантастики, которая выходит за рамки собственного научного предсказания.

Тот факт, что нельзя считать себя образованным, не понимая (хотя бы в общих чертах) происходящие в науке и технике процессы, признается всеми. Как же изучить актуальные достижения современной науки и техники современному человеку, стремящемуся получить хорошее образование? Это возможно, только познав метод науки и техники, ее историю и тенденции развития, а не заучив на веру научные догмы или вызубрив наизусть зафиксированные в учебниках научные представления.

Темпы развития современной науки и техники таковы, что за ними не в состоянии угнаться ни «узкие» специалисты, ни дженералисты, ни сами ученые и инженеры, ни рефлектирующие их деятельность философы и историки, ни вся печатная индустрия и образовательная система в целом. Однако будущее прорастает в прошлом. И для того, чтобы понять настоящие достижения науки и техники и тенденции развития науки и техники в будущем, необходимо изучать их историю. Но изучать не догматически, а критически, т. е. не доверять расхожим мнениям и историческим штампам, перепроверять имеющиеся историко-научные факты и многократно подвергать сомнению, может быть, весьма очевидные с первого взгляда и даже общепринятые научные объяснения. Именно в этом залог творческого развития науки и техники. Но, чтобы выработать такую способность, специалист в той или иной отдельной области науки или техники (будь то физик или математик, инженер или гуманитарий) должен иметь представление о развитии целого и традиций такого рода рассмотрения. Именно этой цели и должна служить, по замыслу автора, данная книга, предлагаемая в качестве учебного пособия для изучения концепций современного естествознания и техники.

Традиционно такого рода учебники описывают лишь концепции современного естествознания. Особенность нашего изложения заключается в том, что в данной книге история развития естествознания неразрывно связывается с возникновением и развитием техники и

технического мышления человека. Это обусловлено тем, что естествознание и техника не только в современном мире, который часто называют постиндустриальным или информационным обществом, но и в исторические времена настолько тесно взаимосвязаны, что одно нельзя понять без другого. Кроме того, в данной книге постоянно приводятся разные точки зрения на один и тот же предмет с целью развития рефлексивного отношения к науке и технике, характеризуются не только сами научные представления, но и их различное понимание и интерпретация. Без такого рефлексивного выхода из сферы собственно актуальной науки и техники в философию науки и техники изучение данного предмета просто не имеет смысла. Это позволяет одновременно осознать не только силу, но и слабость и естественные ограничения науки и техники — не только обусловленные временными рамками, но и принципиальные ограничения, выход за пределы которых чреват непредсказуемыми последствиями для человечества в целом. Одна из задач такого рефлексивного отношения к науке и технике заключается в том, чтобы развить у будущего ученого, инженера и вообще гражданина чувство ответственности за свои действия, в том числе за свою научную и инженерную деятельность, по отношению не только к согражданам и современникам, но и последующим поколениям и даже к самой окружающей нас и вместе с нами развивающейся природе.

## О Г Л А В Л Е Н И Е

<b>Раздел 1. РАЗВИТИЕ СОВРЕМЕННОЙ НАУКИ. ФИЛОСОФИЯ И ИСТОРИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ .....</b>	<b>3</b>
Глава 1. Что такое наука? Наука как предмет исследования и управления .....	3
Глава 2. Основные концепции современного естествознания в философии науки .....	35
<b>Раздел 2. ОСНОВНЫЕ КОНЦЕПЦИИ ИССЛЕДОВАНИЯ НАУКИ И ТЕХНИКИ В ИСТОРИИ КУЛЬТУРЫ.....</b>	<b>84</b>
Глава 1. Осознание места научных и технических знаний в древних культурах и представление о науке и технике в античной традиции .....	84
Глава 2. Предпосылки нового научно-технического мышления в средние века и выработка новой философии науки и техники в эпоху Ренессанса и Новое время .....	156
Глава 3. Историко-научный факт и его интерпретация: «новая наука» Галилео Галилея и ее отношение к технике с точки зрения современных методологических концепций естествознания .....	213
<b>Раздел 3. КЛАССИЧЕСКОЕ И НЕКЛАССИЧЕСКОЕ ЕСТЕСТВОЗНАНИЕ И ТЕХНИКА. СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В ЕЕСТЕСТВОЗНАНИИ И ТЕХНИКЕ .....</b>	<b>257</b>
Глава 1. Классическое естествознание и техника	257
Глава 2. Крушение образа классической науки и развитие неклассического естествознания .....	426
<b>Список рекомендуемой литературы .....</b>	<b>601</b>
<b>Послесловие .....</b>	<b>605</b>

# CONTENTS

<b>Part I. THE DEVELOPMENT OF MODERN SCIENCE. PHILOSOPHY AND HISTORY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY .....</b>	<b>3</b>
Chapter 1. What is it science? Science as an object of the investigation and management .....	3
Chapter 2. The main conceptions of modern natural science in the philosophy of science .....	35
<b>Part II. THE MAIN CONCEPTIONS OF THE INVESTIGATION OF SCIENCE AND TECHNOLOGY IN THE HISTORY OF CULTURE .....</b>	<b>84</b>
Chapter 1. The recognition of the place of scientific and technical knowledge in the ancient cultures and the representation of science and technology in the antique tradition .....	84
Chapter 2. Preconditions of the new scientific and technological thinking in the Middle Ages and of the new philosophy of science and technology in the Renaissance and modern times .....	156
Chapter 3. Scientific-historical fact and its interpretation: the «New Science» of Galileo Galilei and its relationship to technology from the point of view of the modern methodological conceptions of natural science .....	213
<b>Part III. CLASSICAL AND NONCLASSICAL NATURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY. MODERN TENDENCIES IN NATURAL SCIENCE AND TECHNOLOGY .....</b>	<b>257</b>
Chapter 1. Classical natural science and technology .....	257
Chapter 2. Destruction of the standard view on the world of classical science and creation of nonclassical natural science .....	426
<b>Literature .....</b>	<b>601</b>
<b>Conclusion .....</b>	<b>605</b>