П. К. АНОХИН

Избранные труды

Кибернетика функциональных систем

Н. Винер и П.К. Анохин

П. К. АНОХИН

Избранные труды

Кибернетика функциональных систем

Под общей редакцией
академика РАМН К.В. СУДАКОВА

Москва—1998

УДК 612.8.01/.04:577.31
ББК 32.81
А 69

Составитель — доктор мед. наук, профессор
В.А. МАКАРОВ

Анохин П.К.
А69 Избранные труды: Кибернетика функциональных систем/Под ред. К.В. Судакова. Сост. В.А. Макаров. — М.: Медицина, 1998. — 400 с.
ISBN 5-225-04399-2

В предлагаемую вниманию читателей книгу вошли работы П.К. Анохина, опубликованные в разные годы в сборниках научных работ, трудах съездов и конференций, юбилейных изданиях. В частности, представляют интерес работы П.К. Анохина о кибернетике как науке об управлении саморегулирующимися системами, о понятии обратной связи, моделировании функциональных систем и их информационном эквиваленте.

Для тех, кто интересуется проблемами кибернетики.

ББК 32.81

ISBN 5-225-04399-2

ПРЕДИСЛОВИЕ

Предлагаемая читателям книга "Кибернетика функциональных систем" составлена из работ П.К.Анохина, опубликованных в разные годы и в разных изданиях: журналах, сборниках научных статей конференций, симпозиумов, съездов и т.д.

В связи со 100-летним юбилеем П.К.Анохина (1898 — 1974) мы специально решили подготовить настоящее издание к публикации. К этому нас подвигнул ряд обстоятельств. Прежде всего хотелось в юбилейный год еще раз освежить память о нашем дорогом учителе Петре Кузьмиче Анохине и представить читателям его оригинальные научные идеи по данной тематике, оформленные в разные периоды его творческой деятельности в виде публикаций.

Во-вторых, и это, возможно, главное — мы решили издать книгу, которая еще раз привлекла бы внимание читателей к кибернетике, особенно к кибернетике живых организмов.

Как известно, понятие кибернетика берет свое начало от греческого слова Kybernetike — кормчий, что дословно означает искусство вождения судов. Наука кибернетика отражает общие закономерности обратного регулирования. Кибернетические закономерности представляют объективную сущность действительности. Характерно, что многие философы независимо друг от друга высказывали кибернетические идеи. Природа использовала кибернетические закономерности много миллионов лет в построении живых существ, кибернетические принципы использовались человеком уже при создании машин (Дж.Уатт, Х.Гюйгенс, А.Меснер и др.), ум же человека пришел к формулировке и признанию кибернетических закономерностей только в середине нашего столетия.

Кибернетика в нашей стране прошла долгий и сложный путь — от полного отрицания до безоговорочного признания. Известно, что апологетами марксизма-ленинизма она была объ-

явлена как буржуазная лженаука. Только благодаря настойчивым усилиям академиков А.И.Берга, П.К.Анохина, В.В.Парина и их единомышленников кибернетические идеи получили широкое распространение среди отечественных ученых.

Заслуга П.К.Анохина в пропаганде и разработке вопросов кибернетики особенно велика. Начиная с 1932 г. П.К.Анохин с сотрудниками возглавляемого им коллектива кафедры физиологии Нижегородского университета (позже кафедры физиологии Горьковского медицинского института) на основе многочисленных экспериментов с гетерогенными анастомозами нервов обнаружил наличие в организме животных функциональных систем, работающих по принципу обратных связей.

Функциональные системы, по П.К.Анохину, единицы интеграции целостного организма, все составные части которых, взаимодействуя, взаимосодействуют достижению системой полезных для организма приспособительных результатов. Именно в функциональных системах П.К.Анохиным была обнаружена ведущая роль в их самоорганизации афферентации, поступающей в специальные центры о параметрах достигнутых результатов. Эта динамическая афферентация от результатов действия в различных функциональных системах была названа П.К.Анохиным в 1935 г. "обратной афферентацией".

Впервые эти результаты были опубликованы в коллективной монографии сотрудников кафедры физиологии Горьковского медицинского института "Проблема центра и периферии в физиологии нервной деятельности" (1935), а также представлены в докладе, с которым П.К.Анохин выступил в том же году на XV Международном физиологическом конгрессе в Москве, и опубликованы в материалах этого конгресса.

«Будущие историки физиологии, — пишет в главе о П.К.Анохине в книге "Естествознание, философия и науки о человеческом поведении в Советском Союзе" профессор Массачусетского технологического института в США Л.Р.Грэхэм, — изучая процессы развития кибернетических концепций в физиологии, должны будут обратиться к этой работе Анохина, в которой он, выдвинув идею об "обратной афферентации", предвосхитил кибернетическую концепцию "обратной связи". В то время он не располагал, разумеется, знаниями о математических основах теории информации... И все же знакомство с работой Анохина,

опубликованной в 1935 г., позволяет говорить о том, что в плане терминологии и в плане самой концепции, изложенной здесь, работа эта близка к той литературе, посвященной проблемам нейрокибернетики, которая появилась значительно позднее. В этой работе он, например, говорит о нейрофизиологии, используя термин "функциональная система", действие которой рассматривается им как основанное на поступающих "управляющих и корректирующих" сигналах»[1].

Это же признал и "отец" кибернетики Н.Винер (1894 — 1964), когда он, будучи в СССР в 1961 г., посетил лаборатории П.К.Анохина и основательно ознакомился со всеми его работами. Сам Н.Винер, как известно, теоретически описал обратные связи в общественных явлениях и технических устройствах только в 1948 г. в книге "Кибернетика". Понятие же "обратная афферентация" по существу дела идентично понятию "обратная связь", с той лишь существенной разницей, что оно было сформулировано **намного раньше** П.К.Анохиным и было экспериментально выявлено и **доказано** в опытах на живых организмах, различного уровня эволюционного развития.

Появление самой теории функциональных систем было подготовлено представлением о том, что рефлекторный акт не заканчивается выходом возбуждения на эфферентный путь, ведущий к сокращению мышц и совершению, таким образом, определенного действия, а имеется еще одно звено, между скелетной мышцей и мозгом, по которому постоянно идет поток возбуждений и которое необходимо "для тонкой регуляции работы мышц", которое было выдвинуто еще в XIX веке (Ч.Белл, А.М.Филомафитский, И.Т.Глебов, И.М.Сеченов и др.).

Однако это было предположение, пусть смелое, но предположение, научное предвидение. Создание П.К.Анохиным теории функциональной системы и установка им роли обратной афферентации, которые сам П.К.Анохин рассматривал как качественную основу для физиологических кибернетических исследований, является закономерным историческим этапом в развитии этой проблемы в науке. Как отмечал ученый, "не может быть никаких серьезных открытий или обобщений, которые не были бы строго обусловлены

---

[1] *Грэхэм* Л.Р. Естествознание, философия и науки о человеческом поведении в Советском Союзе. — М., 1991. — С.202—212.

предшествующими этапами научного развития, совокупностью знаний и общественным строем данной эпохи[1]".

Замечательная, выдающаяся роль П.К.Анохина заключается в том, что догадки своих предшественников и их общебиологические положения он облек в форму научно обоснованной теории со строгой физиологической аргументацией — экспериментальным обоснованием основных ее положений. Теория функциональной системы представляет собой не только универсальную модель функционирования организма с точной формулировкой узловых механизмов, которые являются специфическими только для системы и не свойственны ее компонентам, но она является конкретным физиологическим аппаратом, благодаря которому осуществляются процессы саморегуляции.

Особенность теории функциональной системы П.К.Анохина состоит в сочетании макро- и микроподходов к изучению биологических функций. Обладая конкретной операциональной архитектоникой, включающей определенные блок-схемы, она позволяет изучать деятельность функциональных систем любой степени сложности, начиная от саморегуляции вегетативных функций в организме и кончая целенаправленной деятельностью высокоорганизованных животных и человека.

Многочисленные эксперименты сотрудников П.К.Анохина и его теоретические построения позволили совершенно четко сформулировать представление о том, что кибернетические закономерности присущи любым функциональным системам, составляющим живые организмы. Сейчас вряд ли у кого вызывает сомнение наличие обратной афферентации в функциональных системах различного уровня организации.

Тем не менее в последние годы в научных кругах по отношению к кибернетике наметился некоторый скепсис. В частности, считают, например, что понятие "кибернетика" устарело и полностью было заменено в последние годы понятием "информация".

Нам трудно с этим согласиться. Кибернетика отражает процессы управления и связи в функциональных системах, в то время как информатика описывает закономерности возникнове-

---

1 *Анохин П.К.* Иван Петрович Павлов. Жизнь, деятельность и научная школа. — М. — Л., 1949. — С. 5.

ния, передачи и извлечения информации в функциональных системах. Следовательно, информация — это составная, идеальная сторона биокибернетики, отражающая количественное описание различных функций, конкретного результата, закодированного в виде "модели будущего результата" в акцепторе результата действия.

Теория функциональной системы, таким образом, позволяет не только исследовать пути поступления информации в организме на "входе" и "выходе" из организма, но с помощью физиологических методов расшифровать внутренний механизм деятельности функциональной системы, а на этой основе использовать ее как основу для построения математических и биологических моделей функционирования живых систем различной степени сложности.

Мы полагаем, что переиздание ставших уже классическими работ П.К.Анохина в области кибернетики функциональных систем может быть полезным и продуктивным не только для общей ориентации ученых в сложных противоречивых проблемах науки, но и в стимулировании научных идей, особенно в моделировании и построении роботов новых поколений.

Академик РАМН *К.В. СУДАКОВ*

Профессор *В.А. МАКАРОВ*

I

ТЕОРИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КАК ПРЕДПОСЫЛКА КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

ТЕОРИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНОЙ СИСТЕМЫ КАК ПРЕДПОСЫЛКА К ПОСТРОЕНИЮ ФИЗИОЛОГИЧЕСКОЙ КИБЕРНЕТИКИ [1]

1. ЗАДАЧИ КИБЕРНЕТИКИ В ОБЛАСТИ ФИЗИОЛОГИИ

С развитием кибернетического направления в науке неизбежно должны были возникнуть вопросы, имеющие общий характер для самых различных научных дисциплин. Такая неизбежность проистекает прежде всего из принципиального положения кибернетики, по которому явления различного класса развиваются по единой динамической архитектуре, приводящей к получению конечного приспособительного или полезного эффекта.

Такая архитектура является всегда динамической и изменчивой по техническим способам функционирования, т.е. по средствам достижения цели. Однако она всегда обладает постоянством своей *конечной цели и аппаратов, оценивающих достаточность или недостаточность выполнения этой цели.* Совершенно очевидно, что именно таким требованиям удовлетворяет любая система с автоматической регуляцией. Такой системой могут быть система общественных взаимоотношений, регуляции какого-либо фактора в жизни организма и любое саморегулирующееся устройство, т.е. машина, сделанная руками человека.

Их объединяет общность архитектурного плана, построенного на основе золотого правила саморегуляции, которое можно было бы сформулировать так: *само отклонение от конечного приспособительного эффекта служит стимулом возвращения системы к этому эффекту.*

Из сказанного видно, что это и составляет то наиболее общее, что характеризует собой отличительные стороны кибернетики как науки об управлении саморегулирующимися системами различ-

---

[1] В кн.: Биологические аспекты кибернетики. Сборник работ. — М.: Изд-во АН СССР, 1962. — С. 74—91.

ного качества и различной степени сложности. Сюда же включается и понятие обратной связи, которая во всех системах с автоматической регуляцией служит целям информации управляющих механизмов о состоянии конечного полезного эффекта системы.

Это и есть тот фундаментальный принцип, на котором выросла кибернетика как оригинальное научное направление и от которого получили свое развитие другие ее принципы, получившие в отдельных случаях уже самостоятельное значение.

К числу таких, так сказать вторичных, принципов кибернетики можно отнести, например, теорию информации, которая в последние годы получила столь мощное развитие и настолько фундаментально вошла во все виды научных исследований, что уже сама по себе приобретает самостоятельное решение. Именно этим объясняется тот факт, что иногда мы имеем явное отождествление кибернетики и теории информации.

Однако если посмотреть на предмет с общей точки зрения, то можно видеть, что информация есть только средство, более развитое или менее развитое, для поддержания систем с тем или иным конечным полезным эффектом. В самом деле, когда регуляторные аппараты центральной нервной системы дают "команду" рабочим органам организма, то это есть форма информации, которая может быть изучена и рассчитана на основе всех представлений кодирования, декодирования и т.д. Если же мы возьмем те нервные импульсы, которые идут от периферии к центральной нервной системе и которые *информируют* о степени достаточности и полезности пришедшей из центра "команды", то, по сути дела, мы также имеем дело с информацией, но имеющей свое определенное место в архитектуре целого приспособительного акта. Следовательно, исключительно разросшийся анализ отдельных форм и узлов распространения информации хотя и требует специальных математических приемов и специального подхода, тем не менее такая информация является частью большой системы, которая формируется и разрешается конечным эффектом по законам саморегулирующейся системы.

В свете всего сказанного становится совершенно очевидным, что задачи кибернетики в высшей степени разнообразны. Можно изучать состав информации, ее особенности и ее преобразования

на различных этапах продвижения (например, при движении нервных импульсов); можно изучать, как, например, при изучении органов чувств, самую природу кодирования внешней энергии и декодирование ее на различных этапах продвижения информации по центральной нервной системе; можно, например, изучать емкость каналов коммуникации и пределы их возможностей в зависимости от различных привходящих условий. Все это проблемы, которые в обычный феноменологический анализ нервного возбуждения вносят элемент логики, математических расчетов и уточнений, расширяя возможности познания нервного процесса.

Однако никакое, даже самое тонкое изучение частных сторон механизмов передачи информации не может снять основного вопроса о *полезности* этой информации, о ее *значимости* для организма в целом. Из этого следует, что теория информации не может подменить теорию саморегуляции. Последняя всегда будет общей закономерностью по отношению к частным законам циркуляции информации в системе, а это общее, т.е. саморегуляция, имеет свою архитектуру, свои собственные законы развития и законы поддержания приспособительной деятельности организма.

2. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КАК АППАРАТ САМОРЕГУЛЯЦИИ

Итак, саморегуляция как всеобщий закон деятельности организма должна стать предметом самостоятельного исследования. Тот факт, что именно этим общим законам кибернетики не уделяется сейчас должного внимания, объясняется тем, что конкретные и частные вопросы, вроде проблемы сенсорных коммуникаций, проблемы информации, проблемы кодирования, проблемы алгоритмирования и т.д., несомненно, более выразительны, более доступны, и потому с меньшими затруднениями могут быть формулированы и сами задачи исследования.

Наоборот, характеристика жизни целостной организации, сформированной на основе циркуляции возбуждений между отдельными звеньями этой организации, требует, конечно, иного подхода и специальных экспериментов. Наша лаборатория посвятила себя разработке именно этих общих закономерностей формирования систем с автоматической регуляцией.

Основные физиологические закономерности таких систем были нами сформулированы еще в 1935 году, т.е. далеко до того, как были опубликованы первые работы по кибернетике, однако смысл этих публикаций и формулировок в точности соответствовал тем принципам кибернетики, которые были опубликованы впоследствии (Анохин, 1935). И это понятно: динамические процессы в живых организмах представляют собой тот постоянный объективно существующий фактор, который неизбежно должен дать исследователю толчок к познанию, а если это так, то кто бы и когда бы ни приступал к познанию этих закономерностей, они должны быть формулированы в какой-то степени одинаково.

Именно так мы объясняем тот факт, что, исходя из непосредственной необходимости понять процесс компенсации нарушенных функций организма, мы пришли к формулировке принципа функциональной системы как замкнутого физиологического образования с обратной афферентацией.

По своей архитектуре функциональная система целиком соответствует любой кибернетической модели с обратной связью, и потому изучение свойств различных функциональных систем организма, сопоставление роли в них частных и общих закономерностей, несомненно, послужит познанию любых систем с автоматической регуляцией.

Организм отличается от машинных устройств своей крайней экономностью в осуществлении функций, надежностью в распределении процессов при организации узловых механизмов системы и, наконец, бесконечной пластичностью в отношении различных возможностей для получения одного и того же приспособительного эффекта.

Под функциональной системой мы понимаем такое сочетание процессов и механизмов, которое, формируясь динамически в зависимости от данной ситуации, непременно приводит к конечному приспособительному эффекту, полезному для организма как раз именно в этой ситуации. Из приведенной формулировки следует, что функциональная система может быть составлена из таких аппаратов и механизмов, которые могут быть весьма отдаленными в анатомическом отношении. Это значит, что состав функциональной системы и направление ее деятельности определяются ни органом, ни анатомической близостью компонентов,

а динамикой объединения, диктуемой только качеством конечного приспособительного эффекта.

Именно приспособительный эффект, или, правильнее, достижение его, является своего рода категорическим императивом для компоновки частей системы, для темпов реализации отдельных механизмов и, наконец, для остановки дальнейшей мобилизации рабочих компонентов, если только конечный эффект достигнут.

В последние годы много внимания уделяется формированию саморегулирующихся приспособлений организма под углом зрения кибернетических представлений.

В некоторых случаях этот тип формирования саморегулирующихся систем получил название "биологического регулирования" (Wagner, 1958).

Однако, независимо от наименования, для того, чтобы приобрести приспособительный смысл для организма, эти различные формы объединения во всех случаях должны обладать всеми теми свойствами, которые мы формулировали для функциональной системы.

Из сказанного следует, что функциональная система не относится только к коре головного мозга или даже к целому головному мозгу. Она есть по самой своей сути *центрально-периферическое образование*, в котором импульсы циркулируют как от центра к периферии, так и от периферии к центру (обратная афферентация), что создает непрерывную информацию центральной нервной системы о достигнутых на периферии результатах.

На основе общей формулировки функциональной системы как динамической, *не линейной* центрально-периферической организации немедленно возникает несколько вопросов относительно общей физиологической архитектуры функциональной системы.

Необходимо охарактеризовать некоторые черты этой архитектуры, особенно те, которые имеют специальное значение для сравнительных оценок биологических и механических систем с автоматической регуляцией.

Прежде всего необходимо охарактеризовать "жизненный узел" всякой функциональной системы — чрезвычайно прочно связанную функциональную пару — *конечный эффект системы и аппарат оценки достаточности или недостаточности*

этого эффекта при помощи специальных рецепторных образований.

Как правило, "конечный приспособительный эффект" служит основным задачам выживания организма и в той или иной степени жизненно необходим.

Это положение имеет особенный смысл в тех случаях, когда речь идет о так называемых жизненно важных функциях, какими, например, являются дыхание, уровень кровяного давления, осмотическое давление крови, концентрация сахара в крови и др.

Из сказанного следует, что функциональная система представляет собой разветвленную физиологическую организацию, составляющую *конкретный физиологический аппарат*, служащий поддержанию жизненно важных констант организма (гомеостазис), т.е. осуществлению процесса саморегуляции.

Однако когда мы говорим о функциональной системе, то это относится не только к тем системам с константным конечным эффектом, которые располагают большею частью врожденными механизмами.

Основные черты этой организации с таким же постоянством имеют место и при *экстренно* складывающихся функциональных системах или на основе выработки условного рефлекса, или на основе внезапного использования прошлого опыта из аппаратов памяти мозга.

Однако, несмотря на эти качественные различия, функциональные системы принципиально имеют те же архитектурные особенности, и это лучшее доказательство того, что *функциональная система действительно является универсальным принципом организации процессов и механизмов, заканчивающихся получением конечного приспособительного эффекта.*

Поскольку это так, а ниже показано, что другую возможность трудно допустить, немедленно возникает вопрос о сходстве и различиях между функциональной системой живого организма и замкнутыми механическими системами, функционирующими на основе автоматической регуляции с обратной связью.

Нет сомнений в том, что сопоставление принципиальных механизмов тех и других систем, сравнительная оценка средств, при помощи которых достигаются аналогичные эффекты в этих системах, — все это первые и совершенно необходимые шаги в плодотворном союзе физиологов, физиков и техников. Только

при таком условии можно будет с пользой для технических систем раскрыть необъятные возможности тех принципов организации, которыми располагает центральная нервная система живого организма. И, наоборот, на путях этих сопоставлений более простые механизмы технических систем, *легко поддающиеся математической обработке*, могут значительно расширить возможности точного физического и математического анализа физиологических и биологических феноменов.

Именно на этой основе и произведены все последующие сопоставления.

Возвращаясь к той паре физиологических механизмов, которую мы назвали "жизненным узлом" любой функциональной системы, мы должны прежде всего спросить себя: на чем основано это органическое единство приспособительного эффекта и аппаратов оценки его достаточности?

Для ответа разберем типичную функциональную систему, поддерживающую такую жизненно важную функцию, как дыхание, т.е. в конечном счете окислительные процессы в тканях (рис. 1).

Конечным приспособительным эффектом этой функциональной системы является более или менее постоянное соотношение парциальных давлений кислорода и углекислоты.

Колебания этих давлений могут происходить только около вполне определенной величины, отклонение от которой немедленно включает ряд механизмов, выравнивающих это отношение, т.е. возвращающих парциальные давления к норме.

Совершенно очевидно, что в этой паре "эффект — рецептор" рецепторный аппарат и представляет собой наиболее консервативный фактор, который, оставаясь крайне постоянным и раздражаясь отклонениями содержания CO_2 и O_2, включает попеременно многочисленные технические аппараты, выравнивающие содержание этих газов в крови (см. рис. 1).

Совершенно по такому же типу, но с еще большей жесткостью и императивностью, функционируют механизмы, поддерживающие, например, осмотическое давление крови, подробно разобранные в одной из последних наших работ[1].

Но и здесь решающее влияние оказывает также рецепторный

---

[1] Высш. нервн. деят., 1962, № 1.

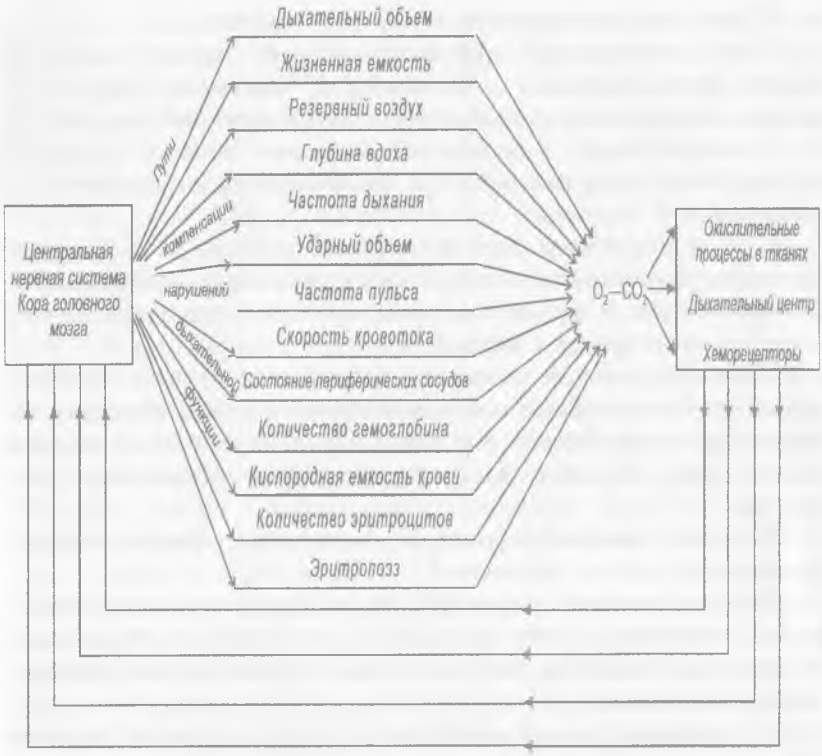


Рис. 1. Принципиальная схема типичной функциональной системы на примере дыхательной функции.

O_2 — CO_2 — конечный приспособительный эффект, который через возбуждение различных рецепторных аппаратов приводит к многообразным приспособительным изменениям центробежных функций, выправляющим его.

аппарат гипоталамуса, который с чрезвычайной силой и весьма разнообразно включает аппараты выравнивания, до сложных поведенческих актов включительно. Именно *рецептор* функциональной системы должен обладать чрезвычайным постоянством, чтобы все колебания и отклонения конечного приспособительного эффекта немедленно приводили к мобилизации аппаратов выравнивания.

Возникает вопрос: с каким элементом автоматических технических приспособлений может быть поставлен в один ряд этот аппарат?

Ответ не представляет больших затруднений.

Если регулируемый приспособительный эффект организма может быть поставлен в аналогию с "заданным эффектом", всегда имеющимся в механизмах с автоматической регуляцией, то консервативный рецепторный механизм живого организма может быть аналогизирован с "чувствительным устройством" механической системы.

В этом "чувствительном устройстве" должны быть представлены все возможности воспринять существенные параметры заданного рабочего эффекта и реагировать на отклонения командами к регулирующим механизмам.

Таким образом, в машинных устройствах с автоматической регуляцией все свойства рабочего эффекта *заданы*, или программированы конструктором и, следовательно, за человеком остается только роль наблюдателя за надежностью чувствительного устройства.

Кем же "заданы" параметры рецепторных аппаратов функциональных систем организма?

Откуда появились параметры этого "чувствительного устройства", позволяющие ему немедленно реагировать в сторону регуляторных аппаратов, выравнивающих рабочий эффект функциональной системы?

В последнее время приходится много встречать попыток объяснения саморегулирующихся приспособлений организма, однако вопрос о происхождении исключительной консервативности самого оценивающего аппарата, насколько мне известно, ни разу не возникал. А именно в этом пункте лежит причина устойчивости основных жизненно важных функций организма и, вместе с тем, эта же архитектурная особенность целиком перешла и на эпизодически складывающиеся функциональные системы.

Стоит лишь на минуту представить себе, что рецепторный аппарат гипоталамуса, оценивающий уровень осмотического давления крови, иногда на протяжении восьмидесяти лет остается абсолютно неизменным, чтобы понять значение этой консервативности для жизни организма.

Это значит, что рецепторные элементы функциональной системы, удерживающей осмотическое давление на одном уровне, *обладают исключительно стабильным обменом веществ*, делающим их высокочувствительными к математически

точному раздражителю на протяжении целой жизни. Таким образом, в рецепторах оценки эффекта системы мы имеем пример исключительной "надежности" в смысле неизменяемости порога чувствительности к адекватному химическому раздражителю.

Говоря об источнике такого постоянства рецепторной функции системы, мы прежде всего должны думать о *генетических* причинах. Только при *наследственной детерминации* свойств рецепторных элементов в жизненно важных функциональных системах может лежать причина такой исключительной устойчивости специфического обмена некоторых нервных клеток.

Если принять во внимание, что вегетативная жизнь организма поддерживается огромным количеством функциональных систем, каждая из которых имеет свой специфический рецептор, с такой же степенью постоянства рецепторной функции (сахар крови, "голодная кровь", химические ингредиенты крови и т.д.), то можно понять, сколь важное значение имеет постоянство этой пары "эффект — рецептор".

Можно с достоверностью утверждать, что вся вегетативная жизнь развитого организма "вписана" в целую систему таких устойчивых пар, в которой колебания неустойчивого компонента — эффекта — ограничиваются и направляются *исключительно постоянным и императивным требованием другого компонента — рецептора функциональной системы.*

Следовательно, классическое, ставшее уже ходячим выражение К.Бернара "постоянство внутренней среды организма" в настоящее время должно быть понимаемо несколько иначе. Как можно видеть из предыдущего, само "постоянство среды" является *вынужденной функцией от истинного постоянства рецепторных аппаратов функциональных систем организма. Эти рецепторные аппараты благодаря их неизменяемому врожденному специфическому метаболизму и многообразным пластическим связям с рабочими аппаратами имеют неограниченные возможности выравнивать приспособительный эффект системы.*

Итак, "заданное" конструктором чувствительное устройство в автоматике в случае организма представлено наследственно закрепленными свойствами метаболизма соответствующих рецепторных аппаратов, которые имеют высокую специфическую чувствительность к определенному физиологическому фактору, представля-

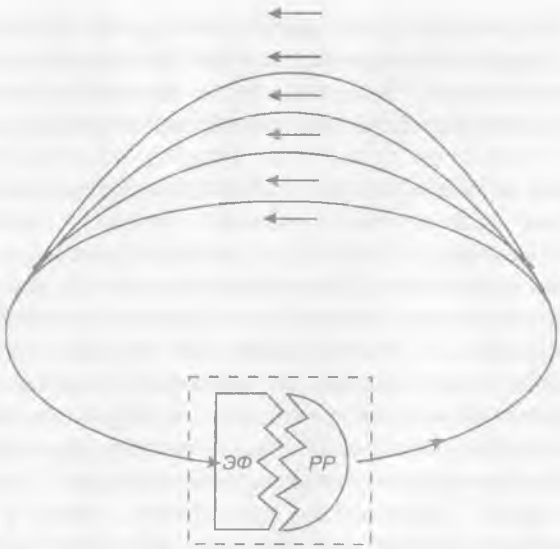


Рис. 2. Схема комплексных соотношений приспособительного эффекта системы (ЭФ) и аппарата, точно рецептирующего этот конечный эффект (РР). На схеме видно, как эта консервативная пара процессов пластично управляет постоянством конечного приспособительного эффекта.

ющему собой рабочий эффект данной функциональной системы. Все эти соотношения можно представить специальной схемой, принципиально общей для всех видов саморегуляций как в организме, так и в машинных устройствах (рис. 2).

3. АФФЕРЕНТНЫЙ СИНТЕЗ

Рассматривая рабочий эффект системы как нечно данное с самого начала, мы лишь сопоставляли его со специфическими свойствами рецепции, которая специально настроена на этот эффект.

Следовательно, эффекторная регуляторная сигнализация, которая рождается из контакта эффекта и рецептора, предполагалась нами всегда как функция от рецептирования какого-либо одного гомогенного фактора (осмотическое давление, сахар крови и т.д.).

Однако в действительности и особенно в сложных функциональных системах с дополнительными циклами регуляции эти отношения могут быть не такими простыми. Для примера можно взять функциональную систему дыхания.

Каждый ритмический выброс эффекторных возбуждений на диафрагмальный нерв или межреберные нервы не случаен. Количество одиночных нервных возбуждений в каждом залпе точно отражает потребность организма в кислороде на данный момент в зависимости от соотношения его концентрации к концентрации CO_2 от текущей дыхательной ритмики, от предстоящих усилий организма по преодолению препятствий (В.А.Шидловский) и т.д.

Все эти потребности чрезвычайно полно интегрируются рецепторными аппаратами данной функциональной системы, в результате чего моторный нейрон возбуждается и дает разряд ровно на столько импульсов, на сколько это требуется по данной ситуации. А это, в свою очередь, значит, что дыхательные мышцы сокращаются на вполне определенный диапазон и потому легкими будет взят вполне определенный объем воздуха.

Практически крайне изменчивый залп эффекторных импульсов, бегущий по диафрагмальному нерву, всегда представляет собой точнейшее выражение потребности организма в том или ином объеме вдыхаемого воздуха. Таким образом, различные по качеству, если так можно выразиться, "параметры нужды" организма именно в данном количестве воздуха интегрируются каким-то предмоторным аппаратом дыхательного центра, и на моторный нейрон выходит вполне определенное количество нервных импульсов с вполне определенным рабочим эффектом на периферии.

И даже на таком, казалось бы, элементарном объекте, каким является моторный нейрон спинного мозга, мы имеем синтезирование, по крайней мере, семи разнородных по качеству возбуждения, конвергирующих к этому нейрону из различных источников. Сам же моторный нейрон "выдает" на периферию вполне определенные количество и конфигурацию всегда монотонных свойственных ему разрядов. Но это количество и конфигурация нервных импульсов всегда являются показателями необходимого участия данной мышцы в общем движении на основании синтеза всех конвергирующих в данный момент к моторному нейрону возбуждений.

Нечего и говорить, конечно, что этот афферентный синтез чрезвычайно широк и многогранен в случае выхода эффекторных возбуждений в форме поведенческого акта. Здесь количество и качество афферентных информаций могут быть столь разнообразны, что процесс синтеза их может задержаться на длительный период. Однако во всех случаях, где имеется какой-либо поведенческий акт, ему неизбежно должен предшествовать процесс афферентного синтеза. У целого организма нет других путей и возможностей решить вопрос "что делать" именно в данный момент, как только произведя обработку и синтез всех многообразных внешних и внутренних информаций, имеющихся на этот момент.

Все это делает процесс афферентного синтеза совершенно необходимой и универсальной стадией для всех уровней выхода афферентных возбуждений на периферию.

Сила, объем, направление и время для реализации рабочего или приспособительного эффекта функциональной системы могут быть решены только динамическим синтезом всех имеющихся на данный момент афферентных сигнализаций.

Все сказанное делает совершенно необходимым выделение этой стадии как именно той "творческой" деятельности афферентной системы, о которой с таким предвидением говорил И.П.Павлов.

Если перенести вопрос в область изучения сложных поведенческих актов, то мы должны прежде всего сказать, что ни один поступок и ни одна *цель поведения* не могут быть сформулированы без предварительного сопоставления многочисленных внутренних и внешних сигнализаций организма, т.е. без афферентного синтеза.

Очень часто приходится встречаться с вопросом: "чем отличается организм от сложной автоматически регулируемой системы".

Из всего разобранного выше ответ на это возникает в совершенно отчётливой форме.

Одно из существенных отличий заключается в том, что организм ежеминутно и самостоятельно решает вопрос "Что делать". Для машины это не составляет вопроса. "Что делать" данной машине, решено было уже в конструкторском бюро, в заводских цехах, а может быть, даже и в планирующих организациях.

Значение стадии афферентного синтеза для разбираемой нами

проблемы заключается прежде всего в том, что она расширяет возможности сопоставления организма и машины и показывает черты принципиального различия между тем и другим.

Ошибка обычных сопоставлений организма и машин состоит именно в том, что они начинаются после того момента, когда вопрос "Что делать" уже решен, а само сопоставление фактически начинается на второй стадии: "Как делать". В то время как организм решает вопрос "Что делать" динамически, при всякой новой ситуации через стадию афферентного синтеза новых внешних воздействий, для машины с автоматической регуляцией этот вопрос никогда не является вопросом. Это обстоятельство и составляет совершенно *принципиальное отличие* организма от машины. Нам всегда казалось странным, что сравнение человека и машины идет уже в фазе, *как выполняет машина* то, что в нее вложено в результате *афферентного синтеза, осуществленного до этого самим человеком*.

Ясно, чтобы сравнение могло быть реальным, мы должны были бы спросить: может ли машина сама осуществить афферентный синтез всех условий, до нужды общества в определенном продукте включительно, и решить для себя вопрос, что именно она должна делать?

Говоря строго научно, сопоставление живых организмов и машин может быть начато именно с этой стадии.

Такие новые вопросы ставит перед нами физиология в связи с выделением стадии афферентного синтеза как решающей стадии в формировании всех функциональных систем организма.

4. АППАРАТ АКЦЕПТОРА ДЕЙСТВИЯ

Работая по методике секреторно-двигательных рефлексов, разработанной в нашей лаборатории (Анохин, 1932), мы встретились с одной особенностью реакции животного, на которую обратили специальное внимание. Эта особенность состояла в реакции животного в ответ на экстренную (!) замену обычного безусловного подкрепления (хлеб), которое имело место в течение ряда лет, на другое подкрепление — мясо. Собака реагирует на эту замену немедленной ориентировочно-исследовательской реакцией и даже отказом от новой еды.

Поскольку общая реакция животного на эту замену была

явно исследовательской (рефлекс "Что такое?"), то неизбежно возник вопрос: что явилось *стимулом* для этой реакции? Еда была заменена другой едой и даже лучшей, так почему же возникла эта ориентировочная реакция с оттенком некоторого общего беспокойства? Все элементы раздражителей и условного возбуждения, *мыслимые в аспекте линейной схемы рефлекса*, были налицо, так почему же возникла такая подчеркнутая ориентировочно-исследовательская реакция?

Ясным стало одно, что сумма афферентных воздействий от мяса как внезапно возникшего фактора не соответствовала чему-то. Но чему? Если бы на том же самом месте и в то же самое время появился хлеб, то, как и в сотнях прежних подкреплений, животное съело бы хлеб без всякой ориентировочной реакции. Следовательно, мясо как раздражитель с определенными афферентными свойствами оказалось неадекватным для какого-то комплекса возбуждений, *предупредительно заготовленных* для хлеба, с афферентными признаками последнего.

Уже одни эти эксперименты заставили нас думать, что в ответ на условный раздражитель возбуждение не просто распространяется в сторону слюноотделительных центров, а создается, прежде всего, некоторый афферентный аппарат системного характера, который *предвосхищает афферентные параметры будущих результатов еще не развившегося до конца действия* (Анохин и Стреж, 1933). Он является по самой своей сути аппаратом *сопоставления и контроля*, организующимся по комплементному типу, а не только простым представительством безусловного центра.

Особенно отчетливо необходимость развития такого афферентного контрольного аппарата, в состав которого входят все параметры вероятных результатов будущего действия, выявилась при изучении компенсации нарушенных функций. Оказалось, что постепенный подбор компенсаторных приспособлений не вообще "проба", а проба, лежащая непременно на пути к правильному эффекту. Какой аппарат регулирует и направляет этот направленный ряд компенсаторных проб и исправлений?

Уже в самом начале восстановления утраченной функции эта функция, например, вертикальное стояние после ампутации конечности у человека, в ее афферентных результатах сформировалась в виде контрольного аппарата, *который и отбирает по*

признаку адекватности все промежуточные "пробы" восстановления функций.

Итак, мы видим, что акцептор действия является, в самом деле, аппаратом контроля результатов действия и сопоставления их с тем "что делать", которое родилось после афферентного синтеза, как *цель к действию*.

Здесь мне хочется обратить внимание на одно важное обстоятельство: можно легко заметить, что архитектура функциональных систем организма, на каком бы уровне они ни складывались, является универсальной.

В самом деле, мы видели, что даже в таких простых функциональных системах, какой, например, является регулирование постоянства осмотического давления крови, имеется чрезвычайно стабильный по своим свойствам рецептор конечного эффекта — клетки гипоталамуса. Они служат тем аппаратом "сопоставления получившегося с заданным", который определяет собой успех подбора необходимых приспособительных действий.

Итак, все функциональные системы организма имеют одну и ту же принципиальную физиологическую архитектуру. Различие их состоит лишь в технике определения. Система со стабильным жизненно важным конечным эффектом (например, осмотическое давление крови) в качестве аппарата сличения использует *наследственно заданные свойства соответствующих живых клеток*, что и определяет характер подбора промежуточных действий. Наоборот, в эпизодически складывающихся функциональных системах поведенческого типа аппарат сопоставления (акцептор действия) складывается экстренно и каждый раз заново на основе афферентного синтеза всех имеющихся *в данный момент* внутренних и внешних воздействий на организм.

Общее во всех этих функциональных системах то, что образование аппарата оценки возможных результатов предстоящего действия происходит раньше, чем формируется само действие и появляются его результаты.

В последнее время мы все чаще и чаще получаем материал, говорящий о том, что центральная нервная система весьма широко использует принцип акцептора действия.

Есть основание думать, что в момент выхода на периферию *любого эфферентного возбуждения* сразу же складывается и ап-

парат акцептора действия, которому предстоит сопоставить будущие результаты с тем, что "выдано" на эфферентной стороне.

Так, например, в нашей лаборатории была сконструирована такая саморегулирующаяся система дыхания, которая позволяла дыхательному центру управлять не непосредственно дыхательным мышечным аппаратом, как это происходит в норме, а с помощью специального электронного преобразователя нервные импульсы осуществляли управление работой аппарата искусственного дыхания (В.А.Полянцев, 1960)[1].

Такое сочетание физиологических и механических свойств в одной саморегулирующейся системе позволяло нам произвольно вмешиваться в разные моменты деятельности дыхательного центра.

В данном случае для нас представляет интерес тот факт, что такая система позволяла нам применить разработанный еще на безусловном подкреплении (Анохин и Стреж, 1933) прием *внезапной подмены подкрепления* на такой сравнительно элементарной модели, какой является дыхательная функциональная система.

В самом деле, если во всех разобранных выше функциональных системах аппарат оценки результатов действия формируется раньше, чем появляются сами результаты действия, то спрашивается, как оценивается достаточность или недостаточность реальных результатов в дыхательной системе (объем вдыхаемого воздуха) по отношению к вышедшим на периферию эфферентным дыхательным импульсам?

Для ответа был применен прием "внезапной подмены подкрепления", поскольку модель легко позволяла это сделать. Соображения были таковы.

Допустим, что дыхательный центр в результате афферентного синтеза всех потребностей организма и состояния самой системы на данный момент посылает на периферию, к дыхательным мышцам определенное количество импульсов. Эти импульсы вызывают, в свою очередь, сокращение дыхательных мышц вполне определенной интенсивности, что реализуется, наконец, в засасывании легкими определенного количества воздуха. И, наконец, это растяжение легкого (альвеол) в форме обратной афферентации о результатах действия (степень растяжения альвеол — количество принятого воздуха) сигнализируется по

---

[1] Опыты В.А.Полянцева. Физиол. журн., 1959.

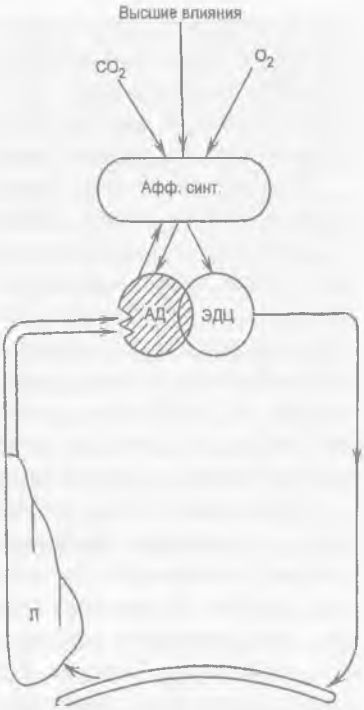


Рис. 3. Схема истинной архитектуры дыхательного центра.

Вначале происходит синтез всех афферентных влияний на дыхательный центр (Афф. синт.). После этого немедленно формируются два аппарата с различным функциональным значением. Один из этих аппаратом (ЭДЦ) формирует эфферентные импульсы к дыхательной мускулатуре, другой (АД), формируясь одновременно с первым аппаратом, обеспечивает контроль афферентных импульсов (обратная афферентация), точно отражающих полученный на периферии результат (объем воздуха, взятого легким Л). Это и есть аналог аппарата акцептора действия.

блуждающему нерву в дыхательный центр. Эту систему отношений можно изобразить на специальной схеме.

Критический эксперимент состоял в следующем: механическая часть системы была настроена на редукцию истинной эфферентной посылки дыхательного центра во время прохождения ее через электронные блоки преобразования импульсов. В результате таких соотношений дыхательный центр, послав на периферию к дыхательным мышцам нервные возбуждения, в сумме эквивалентные, например, принятию 500 см^3 воздуха, оказывается "обманутым", ибо обратная афферентация от легкого в виде разрядов рецепторов растяжения сигнализирует о взятии легким всего лишь 250 см^3 воздуха.

И здесь мы встретились с той же самой закономерностью, которая была вскрыта и в условном рефлексе. Дыхательный центр на получение обратной афферентации от неадекватного

периферического результата немедленно реагирует значительным усилением своих эфферентных импульсаций, что должно скомпенсировать происшедший "недобор" воздуха, поскольку 500 см^3 точно отражали результаты синтеза всех потребностей организма в кислороде на данный момент.

Однако самый факт немедленной реакции дыхательного центра *увеличением* своей эфферентной импульсации *на уменьшение* (!) афферентных возбуждений, пришедших от легкого, представляет собой явное нарушение обычных физиологических соотношений. Он, несомненно, *говорит о наличии аппарата, регистрирующего рассогласование между посланным на периферию рабочим залпом импульсов и реальным результатом, полученным на периферии в виде захвата воздуха*. Таким образом, мы вновь, но уже на уровне дыхательного центра, получили доказательство наличия аппарата акцептора действия (рис.3).

Весьма возможно, что подготовка аппарата акцептора действия, т.е. аппарата проверки будущего результата, есть универсальная закономерность организма, проявляющаяся во всех случаях, когда на периферию посылаются эфферентные возбуждения, *доза которых установлена предварительным афферентным синтезом*. Однако эта идея должна быть еще проверена в специально организованных экспериментах.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные выше закономерности формирования функциональных систем на различных уровнях организации убеждают нас в том, что имеется один универсальный архитектурный принцип в деятельности организма. Он лишь модифицируется в зависимости от того, на каком уровне формируется та или иная система — на уровне гомеостатических соотношений или на уровне поведенческих актов.

Такое постоянство способа формирования функций на самых различных уровнях организации убеждает нас в том, что принцип функциональной системы в эволюции был развит и закреплен уже на очень ранних стадиях развития жизни на Земле.

Вместе с тем, с точки зрения кибернетического подхода к проблеме жизни, все разобранное выше заставляет нас высказать одно важное положение: *ни одна попытка понять общую*

архитектуру приспособлений, а тем более моделировать какие-либо жизненные проявления, не может быть признана достаточной, если в ней не учтены должным образом разобранные выше принципы организации функциональных систем организма: *афферентный синтез, акцептор действия, формирование действия и обратная афферентация о его результатах.*

Все эти свойства функциональной системы делают ее нелинейной организацией, поскольку одни аппараты ее *опережают* события, а другие *возвращают* информацию о результатах действия в центральную нервную систему. Вместе с тем, она становится физиологически структурным выражением принципа саморегуляции, так красочно сформулированного И.П.Павловым еще в 1932 году.

Литература последних лет, как у нас, так и за рубежом, полна иллюстраций того, насколько частные результаты и детальные механизмы в изучении функций организма и особенно при моделировании этих функций все *яснее и яснее вписываются в ту архитектуру функциональной системы*, которая была разобрана выше.

Можно указать на ряд весьма прогрессивных и успешных попыток применения принципа функциональной системы к процессам восстановления речи, к проблеме компенсации функций, к проблеме физиологической структуры речи и т.д. (А.Р.Лурия, 1959).

Достаточно указать, например, что ни падежа, ни ударения на каком-либо слоге, *в середине фразы* мы не могли бы сделать без предварительной организации контроля произношения.

Весьма обстоятельно эту физиологическую архитектуру поведенческих актов разрабатывает в последние годы Н.А.Бернштейн.

Все это вместе взятое дает нам основание думать, что физиология, несомненно, стоит сейчас накануне больших обобщений, которые позволят ей установить еще более тесный контакт с теми пограничными проблемами математики, физики и техники, которые объединены под общей эгидой кибернетики.

В такой же степени ощущается необходимость в формировании каких-то новых понятий и принципов, которые позволили бы физиологам и кибернетикам в более общей форме формулировать перспективы дальнейшей совместной творческой работы.

ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КАК УНИВЕРСАЛЬНЫЙ ПРИНЦИП ИЗУЧЕНИЯ УРОВНЕЙ БИОЛОГИЧЕСКОЙ ОРГАНИЗАЦИИ[1]

П.К. АНОХИН

Создание общих концепций помогает экспериментатору не только объяснять уже полученный материал и поставить его в соответствующее место в большой и организованной системе процессов, но и ставить новые вопросы, предвидеть результаты их решения и таким образом обогащать исследование в более ускоренных темпах, чем это имеет место при обычных приемах чисто аналитического исследования.

Сейчас во всем мире идут поиски системных подходов и синтетических концепций, которые позволили бы исследователю не потонуть в половодье разрозненных сведений, а, наоборот, помогли бы ему вскрыть общие закономерности, обобщить конкретные факты и объяснить их в рамках общих теорий. В связи с этим организуются международные симпозиумы, создаются специальные международные центры по изучению систем. Обширная литература (например, [5], [6] и др.) возникла в поисках таких концепций, которые были бы способны объединить в единую систему разрозненные, хотя по отдельности и блестящие, факты.

Создание общих концепций немыслимо без точного определения понятий. Концепции, понятия которых неопределенны, обычно бывают малоэффективными. В научной литературе, посвященной исследованию систем, встречается много терминов: "организация", "структура", "структурные уровни", "система", "интеграция" и т.д., которые перекрывают друг друга и строго не определены, что порождает поразительное взаимонепонимание и бесплодность общих дискуссий.

В связи с этим встает настоятельная необходимость раскрыть качественные критерии, например, понятия организованности.

---

[1] В кн.: Развитие концепции структурных уровней в биологии. — М.: Наука, 1972. — С. 100 —111.

Что такое организованность? Какой наиболее специфический критерий организованности мы возьмем? Есть ли разница между терминами "организация" и "система", "структура" и "интеграция" и т.д. Отсутствие точных дефиниций в таких терминах крайне ограничивает плодотворность теоретических исследований. К счастью, когда речь идет о строгом эксперименте и о решении конкретных исследовательских задач, то сама жизнь, практика, заставляет исследователя искать точные формулировки и границы каждого понятия.

Обычно, когда говорят "система", то под этим подразумевают всего только нечто "более организованное, чем если бы не было системы". Для физиологов, биологов система появляется там, где у этой организации имеются какие-то приспособительные, полезные для жизни животного результаты. Нет системы там, где не получается никаких полезных результатов для животного. Тогда это просто собрание множества каких-то компонентов, пусть даже внешне и организованное.

В период разработки теории функциональной системы (1935 г.) мы установили, что компоненты системы, сколько бы их ни было, как бы они ни функционировали, ведут себя таким образом, что их "взаимодействие" неизбежно превращается во "взаимосодействие" [1]. По сути дела, система может включать новые компоненты только по одному-единственному критерию — в какой степени этот компонент способствует и облегчает получение приспособительного результата.

Присмотритесь внимательно к кошке во время осуществления ею так называемого "чесательного рефлекса". Производя точечные раздражения за ухом кошки, можно вызвать движение ее задней лапы к пункту раздражения и затем ряд чесательных движений. Со времен Шерингтона этот феномен получил название "чесательного рефлекса". На такое название, конечно, в значительной степени повлияло господство классической трехчленной рефлекторной дуги. Но так ли протекает весь процесс чесания, как это трактуется с точки зрения рефлекторной теории Декарта?

В самом деле, к пункту раздражения не только тянется задняя лапа кошки, но и вся голова и шея направляются к приближающейся лапе — следовательно, мышцы шеи и мышцы лапы совершенно очевидно содействуют получению конечного приспособительного результата — удалению раздражающего агента.

Однако дело здесь не ограничивается только содействием шейной мускулатуры и мускулатуры задней конечности. В эту интеграцию включается и осевая мускулатура тела. В самом деле, изгибается все туловище, а другая задняя конечность занимает позицию, способствующую удержанию тела в равновесии при данных условиях деятельности всего организма.

Итак, вся мускулатура тела выстраивается в одном-единственном направлении, способствующем прикосновению когтя лапы к пункту раздражения. Таким образом, мы можем действительно сказать, что в данном случае систему процессов создают не просто какие-то сокращения мышц, а такие сокращения, которые по избирательности, по количеству вовлеченных мышц и по силе сокращения способны обеспечить прикосновение когтя задней конечности именно к пункту раздражения.

На меня неизгладимое впечатление произвело одно случайное наблюдение в поле у пасущегося стада коров. Был жаркий летний день, и я заметил, как животные хлестали себя непрерывными ударами кончика хвоста по местам, на которые садились кровососущие насекомые — оводы. Но вот один овод, очевидно, сел и кусал на таком месте кожи, которое не могло быть, так сказать, "прострелено" ударом хвоста. Все туловище животного изогнулось дугой, голова сделала максимальный поворот в области шейных суставов, вытянулась шея, и язык, вытянувшись в неожиданно для меня длинную "палку", пытался достать то место туловища, где уселся овод. Все мышцы туловища находились в судорожном движении, однако все до единого сокращения были направлены в одну сторону — обеспечить прикосновение кончика языка к месту укуса. Одновременно подкожная мышца того места, на котором сидел овод, сильно сокращаясь, приближала овода к кончику языка. Здесь, таким образом, мы наблюдаем поразительное взаимосодействие самых разнообразных мышц тела для обеспечения сбрасывания овода с кожи. Вот такая обширная организация, включающая мышцы, нервы, рецепторы, нервные центры и т.д., и может быть названа системой, поскольку она приводит к получению конечного полезного результата.

Это рассуждение подводит нас к выводу, что результат системы является главным ведущим ее фактором. В самом деле, мы легко можем выразить все процессы в системе в понятиях

результата, ибо именно он представляет собой жизненно необходимый момент в поведении животного.

Любая система, прежде всего, должна решить вопрос, "какой" и "когда" должен быть получен результат. После этого возникает вопрос, "каким образом" должен быть получен результат. И когда уже получен результат, возникает последний вопрос, «достаточен ли» полученный результат в соответствии с потребностями биологической системы. В случае, если этот результат достаточен, животное переходит к выполнению следующего этапа своего поведенческого цикла. Если же этот результат недостаточен, то у животного начинает действовать весьма интересный механизм, который возбуждает его ориентировочно-исследовательскую реакцию, обеспечивающую высокий уровень возбудимости всей центральной нервной системы и, в особенности, коры головного мозга. Этот последний механизм способствует подбору новой информации, ведущей к построению новой программы действия, которая и обеспечивает в конце концов тот результат, который более соответствует потребностям данного момента.

После этого обратная афферентация сигнализирует о достаточном результате, чем и заканчивает поиск. Именно поэтому она и была названа нами много лет тому назад (1935 г.) "санкционирующей афферентацией" [1].

Итак, мы видим, что результат обеспечивает все стадии развития системы и, следовательно, он является тем своеобразным "паспортом", по которому и должна быть оценена качественная сторона системы.

Из сказанного выше следует, что все разнообразные термины, которыми обычно желают выразить сложность организации, или повторяют друг друга, или оказываются лишними. Так, например, очень часто говорят "системно-структурная организация" или даже просто "структурная организация". С точки зрения развитых выше представлений о системе, как видно, нет необходимости во всех этих терминологических вариантах. Само понятие функциональной системы уже неизбежно включает в себя материальный субстрат, т.е. структуру, которая много раз реорганизуется на основе принципов функционирования вплоть до получения конечного полезного эффекта. С этой точки зрения в дальнейшем я буду употреблять выражение "функциональная система" имен-

но в этом его содержании. Анализ же конкретных морфологических и физиологических механизмов функциональной системы еще более убедит в справедливости этого положения.

Более того, я могу утверждать, что любые комбинационные взаимоотношения структур также подчинены получению конечного результата, а раз это так, то все структурные взаимоотношения с точки зрения приспособительной могут быть только функционирующими структурами.

Когда Норберт Винер в своем предсмертном интервью указал, что именно система может выручить исследователей, утонувших в обилии огромного количества разрозненных фактов, то он, по сути дела, имел в виду именно это организующее влияние системного мышления. Именно этими же соображениями вызваны к жизни научные организации, институты и центры, которые ставят своей задачей раскрытие законов формирования систем и их специфических черт, отличающих системный подход от несистемного подхода к исследовательскому процессу и к его результатам.

При разработке теории функциональной системы, которая была сформулирована нами в 1935 г. [1], т.е. фактически задолго до упомянутого выше "системного движения", мы встали перед необходимостью сформулировать и разработать конкретными физиологическими приемами ее узловые механизмы. Эти механизмы должны были сделать функциональную систему в одно и то же время и инструментом расшифровки многообразных экспериментальных результатов, полученных уже ранее, и инструментом формулировки новых исследовательских задач и перспектив науки в целом.

Мы смогли раскрыть целый ряд специфических свойств функциональной системы, который принадлежит только ей и составляет предмет ее специфических отличий от общего "системного подхода", оперирующего с глобальными и гомогенными понятиями. Эти отличия следующие:

1. Функциональная система включает в себя "системообразующий фактор", который на закономерных вполне изучаемых основаниях превращает хаотическое множество компонентов в функциональную систему. Этим фактором является полезный результат системы, обладающий через обратную афферентацию императивным влиянием на распределение активностей по ком-

понентам системы. Признание решающим фактором системы результата ее деятельности дает возможность вскрыть изоморфические черты и приложить теорию функциональной системы к самым различным классам систем, где полезный результат является решающим компонентом (организм, общество, машины). Из этого следует, что функциональная система является теоретическим принципом универсального применения.

2. Функциональная система имеет хорошо раскрывающуюся в деятельности внутреннюю операциональную архитектонику, составленную из вполне конкретных специфических узловых механизмов. Это последнее обстоятельство дает возможность избежать таких глобальных и гомогенных понятий, как "общая теория систем", "целостность", "система вообще" и т.д. Совокупность всех этих качеств, присущих именно функциональным системам, дает нам основание сформулировать "общую теорию функциональных систем".

Философский смысл этих, казалось бы, на первый взгляд, чисто экспериментальных исследований функциональных систем состоит в том, что многие проблемы, стоявшие как перед физиологией, так и перед философией, оказались разрешенными на материалистической основе. Так, например, понятие целесообразности, являвшееся много лет одиозным, поскольку оно всегда несло в себе привкус "надорганических целей", в настоящее время легко может быть понято и расшифровано до тончайших нейрофизиологических процессов нервной системы. Точно так же можно сказать и относительно понятий "предвидение", "интуиция" и других, которые долгое время были форменным жупелом для рационалистически настроенных исследователей.

К сожалению, еще и по сию пору традиция отдавать "цели" первое место в формировании поведенческого акта иногда имеет место даже в серьезных математических и физических работах.

Так, например, при анализе "больших систем", которые в настоящее время начинают занимать внимание и биологов, и экономистов, и электроников, рассуждения всегда начинаются с постановки "цели" или "задачи" данной системы. С философской точки зрения такая постановка вопроса исходит из молчаливой предпосылки, что все начинается с постановки цели работы. Между тем изучение функциональных систем чисто физиологическими методами неизбежно ставит вопрос о том, что такая

цель не может сформироваться, как выражался И.П.Павлов, "ни оттуда, ни отсюда". Ей неизбежно должна предшествовать обширная работа по перебору многочисленных информационных материалов, прежде чем будет принято решение о том, как надо получить наиболее подходящий именно к данной ситуации результат.

Так постепенно в нашей лаборатории сформулировано было понятие об "афферентном синтезе". Афферентный синтез, как один из узловых механизмов функциональной системы, является абсолютно неизбежной стадией в развитии как сложных поведенческих актов животного, так и в формировании функций со значительно более простым результатом (например, поддержание постоянства кровяного давления, поддержание постоянного осмотического давления крови и т.д.).

Прежде всего перед нами встал вопрос о составе афферентного синтеза в смысле специфических процессов, участвующих в нем. Мы установили, что по крайней мере четыре составных механизма участвуют в афферентном синтезе, а их участие и взаимодействие обеспечиваются тремя нейродинамическими процессами, которые помогают осуществлению самого афферентного синтеза. Специфические афферентации, которые составляют афферентный синтез, являются следующими:

а) доминирующая на данный момент мотивация организма, или мотивационная афферентация;

б) обстановочная, или ситуационная, афферентация, которая определяет в нервной системе фон внешних и внутренних процессов, вмешивающихся в формулировку цели на данном этапе поведения;

в) пусковой стимул, или пусковая афферентация (под этим понимается обычно тот толчок, который приурочивает действие и получение результата к определенному моменту жизни организма);

г) память как источник постоянных процессов, включающихся в афферентный синтез и корригирующих задачу данного момента на основе прошлого опыта организма.

Наряду с этим имеются еще три нейродинамических процесса нервной системы, которые представляют собой непременно сопутствующие факторы, облегчающие сам афферентный синтез в

смысле наиболее успешных взаимодействий и ассоциаций между отдельными возбуждениями. Эти динамические процессы были подробно охарактеризованы в нашей лаборатории с точки зрения основных нейрофизиологических закономерностей.

Первым из них является процесс восходящей активации, который всегда сопровождает ориентировочно-исследовательскую реакцию и создает благоприятное соотношение общей возбудимости на синаптических образованиях коры мозга. Вторым динамическим процессом является процесс реверберации возбуждений между различными функционально связанными пунктами центральной нервной системы (и в особенности между корой и подкоркой). И, наконец, третий процесс, который, очевидно, также имеет реверберационный характер, — это центробежное повышение возбудимости или снижения порога периферических рецепторов, вовлеченных в активный подбор дополнительной информации из внешнего мира в момент афферентного синтеза.

Характерными физиологическими признаками афферентного синтеза являются два признака, делающие понятной необходимость этой стадии в формировании поведенческого акта.

Прежде всего надо отметить первый факт, что все компоненты афферентного синтеза должны обрабатываться абсолютно одновременно (симультанно), несмотря иногда на последовательность поступления их в ЦНС, и именно только в этом заключается успех окончательного принятия решения. Мы изучали нейрофизиологически эту симультанность всех процессов афферентного синтеза и нашли, что встреча всех видов афферентаций неизбежно должна произойти на одном и том же нейроне и только после этой взаимной "примерки" формируется как "принятие решения", так и вся дальнейшая цепь механизмов функциональной системы.

Второй особенностью афферентного синтеза является то, что в нем так же, как и в других узловых механизмах, физиологическое и морфологическое, т.е. функция и структура, неотделимы друг от друга, а если опуститься до молекулярных процессов клетки, то они, по сути дела, являются реально едиными.

Исследования, являясь по своей сути аналитическими на молекулярном уровне, для нас выступают не только как аналитические, поскольку мы точно знаем положение этих деталей в

системе и что афферентный синтез — это момент, когда обрабатывается вся информация и благодаря этой обработке формируется решение и цель действия.

Чтобы немного яснее представить афферентный синтез, приведу пример перехода улицы с очень интенсивным движением транспорта. В тот момент, когда вы стоите на краю тротуара и намереваетесь перейти улицу, вы оцениваете, сколько машин идет в одну сторону и сколько в другую, как быстро идут машины, и только после этого принимаете решение, под каким углом вам нужно переходить улицу. К этому прибавляется еще оценка ваших собственных возможностей, как человека, который чувствует себя или способным, или неспособным быстро перейти улицу. Пожилой человек будет ждать, пока движение машин совершенно прекратится; молодой человек, который быстро двигается и может быстро проскочить между машинами, принимает более оперативные решения. Но всегда только после синтеза всех этих факторов возникает момент принятия решения.

Следовательно, для функциональных систем этот афферентный синтез является в высшей степени важным и обусловливающим успех развития всех последующих стадий.

Вся эволюция мозга, и особенно эволюция рецепторных частей, т.е. органов чувств, отражала усложнение условий жизни, а следовательно — и усложнение принятия решения. Вопросы "когда", "как", "где" и "что делать" становились все сложнее и сложнее в процессе эволюции, с расширением сферы действия животных, и особенно сложными они стали тогда, когда появился человек.

Вернемся к примеру с переходом улицы человеком. Здесь имеются два этапа. Первый — это афферентный синтез внутренней и внешней информации, завершающийся принятием решения. Первый этап переходит в обработку программы действия — какие мышцы должны реализовать принятое решение, по какому направлению следует идти и т.д. Это уже второй этап. Дальше действие дает результаты, а результаты благодаря своим афферентным параметрам воздействуют обратно на аппараты афферентного синтеза. На этом этапе осуществляется контроль полученного результата, контроль по его параметрам: соответствует ли он тому решению, которое было принято на основе афферентного синтеза. Такой контроль обеспечивается весьма

тонким аппаратом, который широко изучается сейчас у нас в лаборатории. Еще давние (1933 г.) эксперименты показали нам, что параметры результата предсказываются мозгом ранее [2].

Рассмотрим вопрос о "предсказании результатов". Этот вопрос до последних лет, пожалуй, до открытия аппарата акцептора результата действия, не имел субстратного решения. Уже до принятия решения определенная группа клеток формирует на основе проделанного афферентного синтеза некоторую модель последовательности действий и будущих результатов еще не свершившегося действия. Эта модель в основном имеет афферентное содержание, включающее в себя основные афферентные параметры последовательности действий и будущего результата. Кроме того, как только программа действий начинает реализовываться, то по специальным нервным волокнам (коллатерали) команда дает от себя копию к тому же нервному аппарату предсказания результатов.

Таким образом, прежде чем совершится само действие, которое было решено афферентным синтезом, уже оказывается сформированным аппарат, мобилизующий прошлый опыт и точную копию той команды, которая пошла на периферию. Когда же действие совершено и когда получены результаты, тогда по афферентным путям афферентные параметры результатов в форме обратной афферентации приходят в тот же аппарат предсказания результатов.

Данный этап поведений заканчивается, если информация о результатах действия совпадает с предсказанными параметрами этих результатов в акцепторе действия.

Однако если информация оказывается не соответствующей тому, что извлечено из памяти, то немедленно возникает рассогласование и через возобновление афферентного синтеза начинаются поиски нового, более совершенного действия. Разработанный нами аппарат предвидения результатов может дать очень многое для проведения моделирования. Его нейрофизиологическая основа ясна [4].

Много лет тому назад, еще в начале нашего столетия, ученые обратили внимание на то, что крупные нейроны коры отдают от своих аксонов боковые коллатерали. Физиологи обычно констатировали, что функция этих коллатералей непонятна и на первый взгляд бессмыслена. Действительно, зачем нейрону, когда он,

получив информацию, посылает команду периферическим органам, давать затем 30—40, а иногда и даже 100 "копий" этой команды уже в коре головного мозга.

Роль коллатералей выяснилась, когда мы тщательно изучали те пункты, куда приходят эти копии, команды. Благодаря изучению микроэлектродным методом отдельных клеток мы нашли, что нервные клетки, получающие копии эфферентных возбуждений, являются поливалентными, т.е. мультисенсорными, способными получать на себя огромное количество афферентных сигнализаций с периферии — подчеркиваем, с периферии.

Оказалось, что коллатерали аксонов подходят к специальным группам клеток, состоящим из 5—7 нейронов и, очевидно, связанным циклическими взаимодействиями. В результате этого прошедшее к ним эффекторное возбуждение оказывается в цикле связей и сильно укрепляет свое существование. Есть основание думать, что до того момента, когда на периферии будет получен результат, возбуждение циркулирует в подобных группах клеток. Тогда миллионы импульсов возникают от параметров результата и идут к центральной нервной системе; некоторые из них попадают туда, где есть вызванные к жизни циклические возбуждения. И тогда круг замыкается.

Таким образом, получается, что в момент, когда наш мозг осуществляет самое начало действия, он уже заряжен и на ожидание результата. Этот механизм чрезвычайно интересен для познания поведения, для физиологии поведения: еще не реализованное действие уже захватывает мозг, настраивает его на ожидание предстоящих результатов и на последующую оценку этих результатов.

В каждом случае кодирование обратной информации различно, но в совокупности описанных выше рабочих комплексов статистически получается оценка системой полученных результатов.

Детальные исследования показывают, что в момент начала действия тысячи таких кругов, "ожидающих" результата, уже возбуждены и находятся в непрерывном возбуждении. Когда действие совершается (например, вы взяли предмет в руку), по всем рецепторам идет обратная афферентация. Она поступает в описанные выше нервные круги, где и осуществляется оценка результата действия.

Сейчас у нас возникло предположение, что эти комплексы, оценивающие результат, отличаются и некоторыми особенностями своей структуры в нейрохимическом отношении. По крайней мере, клетки этого комплекса (синапсы) реагируют, например, на наркотики раньше всех остальных клеток коры мозга. Это открывает широчайшие возможности новых исследований.

Но возвратимся к понятию функциональной системы. Только потому, что исследование ведется не вразброс, не впрок, не на будущее, а в пределах определенных узловых механизмов функциональной системы, каждый частный механизм удается объяснить как совершенно четко очерченную функцию этой системы.

Приняв теорию функциональной системы, можно совершенно радикально изменить и некоторые, казалось бы, устоявшиеся точки зрения на некоторые проблемы.

Возьмем в качестве примера одно из очень важных положений о том, что с каждым уровнем структур связаны определенные качественные характеристики. Это совершенно верно, но мы, беря только различие, вероятно, не продвинемся глубоко в анализе природы уровней и природы качества. Почему? Потому что дальнейшее изучение и анализ функциональной системы как универсального образования, общего для всех организмов, привели к выводу, что и зарождения жизни не могло быть без формирования тех же узловых механизмов функциональной системы, в которой есть и афферентный синтез, и оценка результатов. Все фрагменты системы, имеющиеся, например, у человека, имеются и должны иметься даже у предбиологических систем. Это серьезная проблема для философского осмысливания. Специфические черты функциональной системы являются универсальными для всех уровней жизни, и лишь только характер иерархического объединения субсистем и качественная сторона "заполнения" узловых механизмов системы могут значительно различаться (см. мою работу [3]).

Результат действия таких систем на первичных уровнях развития может состоять просто в поддержании устойчивости. Сама устойчивость примитивной системы уже может быть ее результатом. Поскольку стабильность саморегулирующейся системы была ее главным признаком, то всякие новые взаимодействия системы с окружающими ее условиями оценивались только на весах этой устойчивости. В систему в процессе эволюции входили

только те элементы, которые укрепляли эту устойчивость и, наоборот, не входили те, которые или разрушали ее, или мешали ей быть стабильной.

Таким образом, говоря о происхождении жизни, мы не стали бы искать, как соединялись под влиянием электрического разряда метан, аммиак и т.д. и получался белок, а стали бы искать целостную динамическую организацию, которая и стала впоследствии "колыбелью" для белковых тел.

Вопрос о происхождении жизни в аспекте формирования устойчивых функциональных систем (может быть, даже еще на предбиологическом уровне) разобран мною подробно в указанной выше книге ("Диалектический материализм и методы естественных наук" [3]), и поэтому здесь я ограничусь лишь вышеприведенными замечаниями.

Сейчас же я хочу подчеркнуть, что эволюция шла через примитивные функциональные системы, обладавшие устойчивостью, а эта последняя на протяжении миллионов лет привела в конце концов к образованию полимеров, к которым относится и белок.

Когда мы сосредоточиваем внимание на эволюции структур по уровням, мы можем видеть появление некоторых качественно новых систем. Но если стать на позицию, которая здесь развивалась и которая во многом оправдана экспериментальными исследованиями, то возникает вопрос: а как же в процессе усложнения организма обстоит дело с архитектурой функциональной системы? Функциональная система, бесспорно, меняется по составу компонентов своей архитектуры, начиная с первичных форм и до самой высшей — человека. Но по общим принципам этой архитектуры, по составу своих узловых механизмов, перечисленных выше, она остается одной и той же. Подчеркиваю — по составу своих решающих механизмов. В этом и состоит изоморфность функциональных систем самых различных классов явлений. Так, например, афферентный синтез есть начальная фаза в формировании функциональной системы, которая на ранних стадиях развития жизни еще очень примитивна.

В самом деле, если мы возьмем пример аллостерического торможения ферментных процессов, т.е. так называемое торможение конечным продуктом, то даже и здесь "принятию решения" предшествует афферентный синтез. Только здесь он пред-

ставлен тремя относительно простыми, но интегрированными компонентами: исходным субстратом, рецепцией его ферментом и рецепцией тем же ферментом определенной концентрации конечного продукта. И только при вполне определенных взаимодействиях этих трех "афферентаций" ферменты могут начать длинную цепь химических превращений. Наоборот, когда мы имеем поведенческий акт, например сложный акт человека, мы видим, что хотя общие принципы архитектуры функциональной системы и сохраняются, однако она обрастает огромным количеством дополнительных компонентов.

Наши конкретные данные убеждают нас в том, что иерархия систем — это есть, по сути дела, иерархия результатов субсистем на каждом уровне — как на молекулярном, так и на уровне целого организма.

В самом деле, мы знаем, например, как сложна сократительная деятельность мышечных волокон. "Сокращение" протекает сначала на молекулярном уровне, потом вмешивается сократимый белок, и, в конце концов, тысячи молекул дают сокращение целого мышечного волокна, волокна группируются в функционирующие комплексы, и таким постепенным усложнением мы, наконец, поднимаемся до целенаправленного движения в сторону Дома ученых на Симпозиум по структурно-системным организациям...

А между тем на любом из этих уровней мы имеем системы саморегуляторного характера со всеми характерными для функциональной системы узловыми механизмами. И, следовательно, перед исследователем неизбежно возникает сакраментальный вопрос: на основе каких законов выстраивается эта изумительная иерархия от совсем маленьких систем через средние, большие и, наконец, функциональные системы, регулирующие поведение целого человека? Какими своими частями и конкретными механизмами, которые теперь нам хорошо известны, присоединяются субсистемы к суперсистемам? Короче говоря, мы неизбежно приходим к постановке вопроса об интимных морфологических и физиологических механизмах иерархизации систем.

К сожалению, современная естественнонаучная и философская литература ограничивается лишь простой констатацией факта наличия субсистем ("малые системы") и суперсистем ("большие системы") без попытки вскрыть конкретные механиз-

мы их консолидации в целом организме. Наш личный опыт убеждает нас в том, что связующим принципиальным звеном иерархизации является результат каждой функциональной системы, независимо от уровня, на котором она функционирует.

Конечно, в целом организме процессы иерархизации гораздо сложнее, они не идут лишь в одном направлении от субсистем к суперсистемам. Как только эти последние сформировываются, они приобретают центробежный контроль от суперсистем к субсистемам. Это и есть одно из средств организма, с помощью которого он поддерживает единство своих систем.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Анохин П.К.* Проблема центра и периферии в современной физиологии нервной деятельности. — Проблемы центра и периферии в физиологии нервной деятельности. — Горький, 1935.
2. *Анохин П.К., Стреж С.К.* Изучение динамики высшей нервной деятельности. VI. Характеристика рецептивной функции коры больших полушарий в момент действия безусловного раздражителя. — Физиологический журнал СССР, 1933, т. 17, вып. 6.
3. Диалектический материализм и методы естественных наук. — М., 1968.
4. *Анохин П.К.* Теория функциональной системы. — Успехи физиологических наук, том I, № 1, 1970.
5. *Bertalanffy L.* von. General System Theory. Foundation, Development. Applications. N.Y., 1969.
6. *Mesarovic F.* (ed.). Systems Theory and Biology. N.Y., 1968.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКОЕ ЗНАЧЕНИЕ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ[1]

1. ОБЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Общеизвестно, что кибернетический подход получил в настоящее время наиболее широкое развитие в технических науках и в областях, где применяются разного рода электронные машины и приспособления. Но кибернетическая революция это не только технические преобразования: это прежде всего революция в мышлении, в самом подходе к явлениям природы и в методе анализа. Фиксация внимания только лишь на технических аспектах кибернетики рано или поздно станет убыточной для научного прогресса в целом.

Вместе с тем недостаточными являются и попытки философского осмысления самого существа тех кибернетических положений, которые пришли в науку вместе с ней. Так, до сих пор не уделено серьезного внимания такому кардинальному вопросу: какие законы лежат в основе того парадоксального факта, что явления различных классов, относящиеся к технике, живой природе и обществу, развиваются и действуют на основе одних и тех же общих принципов функционирования? Этот вопрос по своему характеру является именно философским. И мне кажется, например, что корень той неопределенности, с которой мы встречаемся при попытке определить, что такое кибернетика, лежит именно в этом.

В самом деле, возьмем наиболее полное и наиболее устоявшееся определение кибернетики как науки об управлении в живых и механических системах.

Если остаться на уровне частных закономерностей жизни в видимых ее пределах, то такое определение как будто удовле-

---

[1] В кн.: Материалистическая диалектика и методы естественных наук. — М., 1968. — С. 547 — 587.

творяет нас. Однако как только мы захотим определить в более общем аспекте само управление, то сейчас же возникает новый вопрос: кому необходимо это управление, как вообще могла возникнуть сама необходимость управления как организационного принципа жизни? Действительно, с точки зрения материалистической диалектики управление не может не иметь истории развития и, следовательно, не может не иметь вполне закономерных причин своего возникновения.

Этот вопрос приобретает еще большую актуальность, если мы остановимся на другом определении кибернетики, а именно: кибернетика есть наука о преобразовании информации в живых и технических системах. Это определение также немедленно вызывает вопросы: что такое информация и чем вызвана необходимость ее преобразования? Иначе говоря, какие более общие законы предопределяли появление информационных зависимостей, как и где родилась или возникла первичная информация, почему она должна преобразовываться и какие законы направляют это преобразование? Философский аспект этих вопросов является гораздо более широким, чем тот, в котором принято рассматривать их в обычных кибернетических формулировках.

То же самое относится и к самому центральному пункту кибернетического мышления — к наличию у всех классов явлений обратной связи.

Никто не сомневается в том, что обратная связь является "душой кибернетики" и что только она почти нацело определила все успехи технической кибернетики. Не случайно поэтому некоторые исследователи считают, что мы живем в "эру обратных связей"[1]. К этой центральной закономерности кибернетического мышления также приложимы аналогичные вопросы, которые были поставлены выше: почему обратная связь стала такой универсальной закономерностью, пригодной и для машины, и для организмов, и для общества? Когда и при каких условиях эта закономерность могла возникнуть в истории земного шара?

Отсутствие ответа на эти вопросы показывает, что, несмотря на развитие кибернетического направления в технике, биологии и в общественных науках, все же более широкий план особен-

---

[1] Structure et evolution des techniques, 1953/1954, № 35—36.

ностей кибернетики, именно философский план, остается до сих пор мало разработанным.

Очевидно, что этот аспект кибернетики можно будет считать в той или иной степени ясным только в том случае, если будет точно определена всеобщая роль кибернетических закономерностей в эволюции нашей планеты как историческая необходимость.

Ниже мы попытаемся использовать добытые нами экспериментальные данные для раскрытия некоторых исторических причин формирования основных кибернетических закономерностей.

2. СИСТЕМА И РЕЗУЛЬТАТ

Одной из самых примечательных черт современного развития наук является поиск "ключа", который позволил бы наиболее быстро понять огромное разнообразие фактических результатов научного исследования, добытых в различных науках.

Таким универсальным "ключом" является понятие системы.

Предсказывая в одном из своих предсмертных интервью, какой будет физика и биология в 1984 г., Норберт Винер выразил эту мысль в весьма отчетливой форме.

Он рассказывал о своей совместно с доктором Делла Риччи работе над развитием идеи, согласно которой в квантовой физике и в квантовой механике должна играть большую роль организация системы. Главное направление развития биологии также пройдет, по его мнению, через организацию системы в пространстве и во времени. Здесь самоорганизация должна играть основную роль. Следовательно, полагал Винер, не только биологические науки будут сближаться с физикой, но и физика также будет ассимилировать некоторые биологические идеи.

Роль системы как обобщающего и организующего фактора в развитии всех наук особенно выпукло представлена в формулировках Эллиса и Людвига, которые опубликовали недавно книгу "Философия системы", установив, что "эпоха джетов", "эпоха кибернетики" и "эпоха космоса" — все они обязаны своим происхождением появлению систем с универсальными свойствами саморегуляции: они предлагают назвать нашу эпоху "эпохой системы"[1].

---

[1] *Ellis D.O., Ludwig F.* System's phylosophy, N.Y., 1962.

Тяга ученых к обобщению особенно драматически прозвучала в одном из интервью знаменитого американского физика Р.Оппенгеймера. Он отметил, что "прогресс науки сопровождается такой специализацией, что отныне любой человек может овладеть всего лишь незначительной долей человеческих знаний. Это вызывает ощущение невежества и одиночества, и, очевидно, это ощущение возникает тем сильнее, чем больше знает человек. Современные ученые тоскуют по единому ключу, по той единой оси любых форм знаний, в которую верили их предки и которую они уже никогда не встретят в будущем"[1].

Если оставить в стороне несколько пессимистический характер высказывания Р.Оппенгеймера относительно самой возможности существования "общего ключа" для различных наук и явлений, то вообще он очень хорошо охарактеризовал беспомощность ученого перед лицом огромнейшего количества информации, полученной в результате разрозненных исследований.

Вполне естественно поэтому, что именно в кибернетических обобщениях многие ученые увидели спасение от половодья разрозненных научных фактов.

Такая надежда была в какой-то степени обоснованной. Специалисты различных областей знания нашли в кибернетике общий язык, и начались широкие научные контакты, обеспечивающие взаимообогащение. В практику вошли симпозиумы и конгрессы, в которых наряду с математиками и физиками принимали участие биологи, физиологи, филологи, лингвисты.

Эту роль кибернетики особенно полно и точно охарактеризовал в своей монографии "Кибернетика и философия" Г.Клаус: "Кибернетика имеет большое значение в первую очередь потому, что эта наука осуществляет общую тенденцию к интегральному объединению многих наук... Она выдвигает много проблем, общих для самых различных специальных наук. Она конструирует понятийное поле, в котором объединяются многие элементы, присущие разным специальным наукам; при помощи общей системы своих категорий и понятий она стремится подвести фундамент под тенденцию к интеграции расчлененных конкретных наук"[2].

---

1 Цит. по: *Рузе М.* Роберт Оппенгеймер. — М., 1965. — С. 127.

2 *Клаус Г.* Кибернетика и философия. — М., 1963. — С. 36.

Возвращаясь к вопросам, которые были поставлены нами во вступительной части этой статьи, мы могли бы сказать, что именно происхождение этой "тенденции" кибернетики к обобщению и формированию ею "понятийного поля" и составляет одну из научных проблем философии кибернетики. Мы должны и здесь опять-таки поставить перед собой прежний вопрос: в чем состоит причина того факта, что именно кибернетика создала такое "понятийное поле", которое смогло выявить нечто общее в огромном разнообразии наук и явлений жизни?

Именно потому, что кибернетика вызвала к жизни много новых ветвлений и частных теорий и особенно практических применений кибернетических правил, создалась диспропорция в развитии ее общих принципов и частных механизмов. Стало совершенно очевидным, что необходим тот "общий знаменатель", который помог бы выразить с помощью единой основы разнообразие линий исследований и такое же разнообразие фактов и понятий.

Можно присоединиться к Винеру, Клаусу, Эллису и Людвигу и к другим исследователям, которые считают, что "система" является наиболее удобным понятием для организации научного исследования и построения обобщающих гипотез. Однако сейчас же встают вопросы: как определить самое понятие системы и как выразить в четких формулировках наиболее характерные признаки, отличающие ее от "несистемы"?

Несмотря на широко принятое употребление термина "система", основные характеристики ее остаются несформулированными. Отсюда и проистекает досадное взаимонепонимание между учеными различных специальностей, а иногда даже в пределах одной и той же специальности.

Успех кибернетического направления определяется главным образом тем, что кибернетика ввела в жизнь систему с весьма четкими параметрами, поддающимися математической обработке. В сущности это и должно служить нам отправным пунктом для обсуждения. Другое дело в биологии. Здесь понятие системы всегда употребляется в том случае, когда хотят отметить что-то сложное, превосходящее по масштабам обычные процессы, механизмы и элементы. И даже Эшби с его строгим математическим мышлением, желая охарактеризовать системы разного масштаба, употребляет такие неопределенные выражения, как "малая сис-

тема" и "очень большая система", ставя при этом акцент только лишь на простом увеличении количества компонентов и на объеме взаимодействий между системами и субсистемами[1].

Успех обсуждения любой проблемы обычно находится в прямой зависимости от того, насколько точно будут определены все параметры объекта дискуссии и общее направление самой дискуссии. Именно поэтому мне хотелось бы дать характеристику тех свойств кибернетической самоуправляемой системы, которые могут быть приписаны только системе, а не ее компонентам.

Эта формулировка покоится на многолетней разработке в нашей лаборатории функциональных систем организма (см. ниже) и, следовательно, имеет экспериментальное обоснование.

1. Ни одна организация, сколь обширной она ни была бы по количеству составляющих её элементов, не может быть названа самоуправляемой, саморегулируемой системой, если её функционирование, т.е. взаимодействие частей этой организации, не заканчивается каким-либо полезным для системы результатом и если отсутствует обратная информация в управляющий центр о степени полезности этого результата. Только при таком условии все части системы вступают в консолидацию, взаимную координацию и субординацию. Благодаря этому вступление в действие каждого компонента системы происходит в точно определённый момент, иначе говоря, взаимодействие между ними имеет организованный и направленный характер.

У всякого другого объединения хотя бы и взаимодействующих частей, но не имеющих конечного полезного результата, нет просто основного условия для системной работы. Система самоуправления — это не простое взаимодействие, это интегрирование активности всех компонентов в одном единственом направлении — на получение необходимого в данный момент и специфического для системы приспособительного результата. У системы нет другого пути для упорядочения работы её компонентов, как фокусирование степени их участия в конечном результате.

Посмотрите на котёнка, который проделывает ритмические чесательные движения, устраняя какой-то раздражающий агент в районе уха. Это не только тривиальный "чесательный рефлекс".

---

[1] См. *Эшби У.Р.* Конструкция мозга. — М., 1964.

Это в подлинном смысле слова консолидация всех частей системы на результате. Действительно, в данном случае не только лапа тянется к голове, т.е. к пункту раздражения, но и *голова тянется к лапе*. Шейная мускулатура на стороне чесания избирательно напряжена, в результате вся голова наклонена в сторону лапы. Туловище также изогнуто в таком виде, что облегчаются свободные манипуляции лапой. И даже три не занятых прямо чесанием конечности расположены таким образом, чтобы с точки зрения позы тела и центра тяжести обеспечить успех чесания.

Как можно видеть, весь организм "устремлён" к фокусу результата и, следовательно, ни одна мышца тела не остаётся безучастной в получении полезного результата. Мы имеем в подлинном смысле слова *систему отношений*, полностью подчинённую получению полезного организму в данный момент результата.

Прямые эксперименты нашей сотрудницы М.Чепелюгиной с перерезкой задних и особенно передних корешков для задней ноги в весьма отчётливой форме показали этот факт "взаимосодействия" частей системы при достижении результата[1].

2. Из предыдущего тезиса видно, что результат самоуправляемой системы приобретает центральное значение для её организации во времени и в пространстве. Именно полезный результат составляет тот операционный фактор, который способствует тому, что система в случае недостаточности данного результата может полностью реорганизовать расположение своих частей в пространстве и во времени, что и обеспечивает в конце концов необходимый в данной ситуации приспособительный результат организма. Можно указать на конкретный пример ампутации конечности, который показывает, что такая система представляет собой логически оформленный комплекс процессов и механизмов. Причём последнее распределение мышечных усилий немедленно закрепляется обратной санкционирующей афферентацией от полученных положительных результатов (Анохин, 1935).

---

1 *Анохин П.К.* Рефлекс и функциональная система как факторы физиологической интеграции. Бюллетень Московского об-ва испытателей природы.— 1949. — № 5, т. 44. — С. 130—146.

Именно констатация и выявление полученного результата являются решающей задачей для определения объёма системы и её качественной характеристики.

Акцент на результате саморегуляции как наиболее характерном и ведущем параметре системы нами сделан не случайно. Необходимость такого акцента вытекает уже хотя бы из анализа современных физиологических концепций. Если посмотреть наиболее важные концепции физиологии, то они сформулированы при полном устранении именно понятия результата.

Эти формулировки породили огромное количество недостаточных по глубине анализа исследований, и, наоборот, изучение целостного поведения животных и человека на нейрофизиологическом основании развивалось с определённой задержкой во времени. Достаточно указать тот факт, что все термины, употребляемые ещё и в настоящее время в физиологии, страдают этим коренным недостатком. Так, например, мы говорим "чесательный рефлекс", "мигательный рефлекс", "хватательный рефлекс".

Что выражено в этих терминах? В них выражено только то, что произошло *действие чесания, действие мигания, действие хватания* и т.д. Рефлекс расценивается по действию. Результат же этих действий совершенно скрыт. А между тем животному, как и человеку, совсем не важно, как это действие называется и какой комбинацией рабочих аппаратов оно произведено, а важен именно положительный приспособительный результат[1].

Аргентинский философ Бунге в своей книге "Причинность", переведённой на русский язык, специально отмечает эту традиционную недостаточность нашего мышления. Он пишет: "Смешение причины с основанием и смешение действия с результатом распространено, кроме того, и в нашей собственной повседневной речи"[2].

Так, в примере с "чесательным рефлексом" имеется все для того, чтобы понять "чесательный рефлекс" как "чесательное действие". Но обычно его не связывают с результатом, который именно является, как показано выше, решающим критерием для деятельности данной функциональной системы. Именно этот результат — *устранение периферического раздра-*

---

[1] *Анохин П.К.* Кибернетика и интегративная деятельность мозга. — Вопросы психологии, 1966. — № 3. — С. 10—32.

[2] *Бунге М.* Причинность. — М., 1962. — С. 259.

жения — и сигнализируется в центральную нервную систему в форме отсутствия вредящего раздражения, что замыкает "рефлекторную дугу", превращая всю архитектуру в функциональную систему.

В этом же примере демонстративным является также и факт содействия компонентов системы друг другу в получении конечного результата. Как уже указывалось нами, здесь не только конечность направляется к пункту раздражения, но, кроме того, и пункт раздражения движется навстречу конечности благодаря избирательному сокращению мышц шеи и мышц всего туловища.

Наши исследования над живыми системами привели нас к полному убеждению в том, что любое физиологическое исследование будет во много раз продуктивнее, если оно будет придерживаться вышеприведенного представления о системе. Поскольку каждая такая система несет определенную функцию с четко очерченными результатами, мы и назвали ее в свое время функциональной системой[1].

Как было установлено, такая функциональная система непременно содержит ряд специфических узловых механизмов, принадлежащих только ей, как интегральному образованию[2].

Так как все дальнейшее изложение нашего представления о философском смысле и методологическом значении основных кибернетических закономерностей будет основано на теории функциональной системы, я считаю совершенно необходимым дать здесь хотя бы краткую характеристику ее основных узловых механизмов, как они представляются нам по последним экспериментальным данным.

3. СТАДИЯ АФФЕРЕНТНОГО СИНТЕЗА

Эта стадия является начальной в развитии любого приспособительного акта животного.

---

[1] *Анохин П.К.* Проблема центра и периферии в современной физиологии нервной деятельности. — В сб.: Проблема центра и периферии в физиологии нервной деятельности. — Горький, 1935. — С. 9—70.

[2] См. более подробно: *Анохин П.К.* Кибернетика и интегративная деятельность мозга. — Вопросы психологии. — 1966. — № 3. — С. 10—32; *Анохин П.К.* Биология и нейрофизиология условного рефлекса. — М., 1968.

Важность этой стадии состоит уже в том, что только после завершения её наступает следующий этап в формировании поведенческого акта. Афферентный синтез является, пожалуй, наиболее обширным и сложным механизмом функциональной системы. Есть основания думать, что вся эволюция мозга и особенно все те усложнения, которые он приобрёл на последних этапах своего развития (кора головного мозга и особенно её лобные отделы), связаны были с нарастающим усложнением именно афферентного синтеза. Это станет понятным, если представить себе, что именно в этой стадии любой организм решает три важнейших вопроса своего поведения: *что делать, как делать, когда делать*?

В процессе эволюции животных с прогрессирующим усложнением условий их существования именно эти три вопроса потребовали для своего разрешения всё более и более сложных мозговых структур. В этом можно видеть смысл той высокой оценки "афферентного отдела" центральной нервной системы, которую дал ему в своё время И.П. Павлов.

Многочисленные исследования моих сотрудников (А. Шумилина, Ф. Ата-Мурадова, К. Судаков) привели нас к выводу, что афферентный синтез осуществляется на основе четырёх важнейших компонентов, имеющих весьма разнородные возбуждения. Взаимодействию же этих возбуждений (и последующему "принятию решения") помогают три нейродинамических фактора: ориентировочно — исследовательская реакция, конвергенция возбуждений на нейроне и корково-подкорковая реверберация возбуждений. Эти механизмы способствуют объединению всех разнородных возбуждений, сопоставлению их и вынесению "решения" об осуществлении определённого поведенческого акта, наиболее подходящего для данной ситуации.

В состав же самого афферентного синтеза у высших животных непременно входят следующие четыре формы афферентации корковых нейронов: доминирующая мотивация, обстановочная афферентация, пусковая афферентация, аппараты памяти. Конвергенция и сопоставление всех этих возбуждений на отдельных нейронах коры и последующая интеграция результатов этого взаимодействия в масштабах целого мозга приводят в конце концов к формированию цели самого действия и к "принятию" наиболее эффективного решения, т.е. к выбору наиболее эффективной в данных условиях программы действия.

4. ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЯ

"Принятие решения" является реальным подарком кибернетики физиологам, поскольку этот узловой момент в совершении любого поведенческого акта оставался скрытым из-за преимущественной линейной точки зрения на формирование поведения, принятой рефлекторной теорией. В самом деле, если представить себе, что внешний стимул является толчком к действию, то по сути дела на протяжении всей рефлекторной дуги нет места "принятию решения" как механизму, с помощью которого формируется цель и программа предстоящего действия.

Понятие цели, как оно было представлено в статье И.П. Павлова "Рефлекс цели", предполагает неизбежное опережение событий, т.е. формирование модели последнего этапа действия раньше, чем окончились начальные его этапы. Едва ли кто будет утверждать, например, что он поставил перед собой цель "купить шляпу" только в тот момент, когда он оказался в магазине головных уборов. Ясно, что "принятие решения" и формирование "цели действия" неизбежно опережают и даже подсказывают ход будущих событий и, следовательно, весь процесс не является последовательно линейным.

Однако, несмотря на чёткую постановку вопроса И.П. Павловым, проблема цели в исследовательском плане не стала объективно-научной проблемой, поскольку этому не соответствовал общий уровень нейрофизиологических знаний того времени. По-видимому, этим и надо объяснить тот парадоксальный факт, что сам И.П. Павлов никогда больше не возвращался к своей смелой попытке рассматривать "цель" как рефлекс.

Итак, принятие решения и формирование цели к получению определённого результата составляют непременный результат стадии афферентного синтеза, вместе с тем эти процессы предрешают ход событий.

Другой характерной чертой принятия решения является его исключающая, ограничительная роль. Благодаря принятию решения к совершению вполне определённого акта организм тем самым освобождается от огромного количества потенциальных степеней свободы, которые он мог бы реализовать в каждый данный момент (А.А. Ухтомский, Л. Васильев, М. Виноградов, 1927).Принципиально в данный момент организм может совер-

шить миллион различных действий, что находится в прямой зависимости от композиции многообразных связей в центральной нервной системе и от пластичных объединений мышечных групп тела. Однако в момент принятия решения из этих бесчисленных степеней свободы делается выбор всего лишь одного-единственного действия, которое наиболее полно приспосабливает организм к данным условиям и в данный момент.

Теперь уже не подлежит сомнению то, что эту пригонку выбора действия к совокупности данных условий нервная система производит именно в стадии афферентного синтеза после всесторонней обработки имеющейся на данный момент внутренней и внешней информации.

Из сказанного ясно, что принятие решения представляет собой весьма важный узловой пункт всей функциональной системы, поскольку окончательный успех или неуспех приспособления будет находиться в прямой зависимости от того, насколько точно сделан выбор необходимого поведенческого акта.

В пределах обычного поведения момент принятия решения является в той или иной степени замаскированным и часто совершается в высшей степени быстро. Это обстоятельство и является причиной того, что в физиологических исследованиях ему не уделяли абсолютно никакого внимания, полагая по традиции, что наличие одного начального стимула вполне достаточно для того, чтобы был сформирован соответствующий поведенческий акт.

Многочисленные эксперименты показывают, что момент принятия решения сопутствуется немедленным возникновением двух взаимосвязанных комплексов возбуждений: а) адекватной программы действия, т.е. интеграла эфферентных возбуждений, и б) специфического аппарата предсказания результатов еще не законченного действия. Следует подчеркнуть, что этот последний комплекс афферентных признаков результата появляется задолго до того, как совершится само действие и будут получены реальные результаты. Оба эти комплекса возбуждений связаны теснейшим образом. Как показывают, например, тонкие микрофизиологические исследования, посылка эфферентных возбуждений, благодаря аксонным коллатералям, принимает самое близкое участие в формировании нейрофизиологических механизмов афферентной модели будущих результатов действия (Правдивцев, Синичкин, Котов, Журавлёв и др.).

5. НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ ПРИРОДА АКЦЕПТОРА ДЕЙСТВИЯ

Кажется удивительным, что проблема будущего, т.е. такие решающие моменты нашего поведения, как постановка цели данного действия, предсказание результатов, которые должны получиться при осуществлении этой цели, не были предметом специального объективного научного исследования. Впервые эта проблема попала в поле зрение чистого физиолога после того, как выявилось, что внезапная подмена стандартного безусловного раздражителя другими безусловными раздражителями (например, хлеба на мясо) ведет на первый взгляд к совершенно непонятным поведенческим проявлениям: к отказу от пищи, к возникновению исследовательской реакции и т.д. С точки зрения описательной, эти проявления нельзя было иначе понять, как "рассогласование" между тем, что "ожидалось", и тем, что "появилось" на самом деле[1]. Ясно было, что наличная, но необычная еда, т.е. мясо, не соответствовала по своим характерным признакам какому-то комплексу возбуждения, который был уже "заготовлен" в ответ на условный раздражитель до появления самой еды. При первых попытках объяснить физиологическую сторону этого феномена мы исходили только из этого одного несогласия и назвали поэтому это возбуждение "заготовленным возбуждением".

Последующие исследования подобных фактов, названных нами "методом сюрпризов", на человеке, на животных, а также и на примере вегетативных функциональных систем (дыхание) убедили нас в том, что речь идет о новом феномене в деятельности мозга. Было показано, что любые функциональные системы организма, начиная от вегетативных и кончая сложными поведенческими актами, если только они заканчиваются полезным эффектом, непременно осуществляются через стадии: афферентного синтеза, "принятия решения" и предсказания результата будущего действия в форме центрального моделирования афферентных признаков этого результата. В начале действия, до его

---

[1] *Анохин П., Стреж Е.* Изучение динамики высшей нервной деятельности. Сообщение III. Нарушение активного выбора в результате замены безусловного стимула. — Физиологический журнал СССР. — 1933. — Т. XVI, вып 2. — С. 280—298.

завершения, в мозгу формируется афферентная модель будущих результатов.

Если к этому процессу в целом подойти с точки зрения психических эквивалентов поведения, то этот аппарат является, вероятно, близким по своему содержанию к изучаемому И.С.Бериташвили в виде поведения, направляемого "образом"[1].

Несомненный успех, который получил при этом подходе И.С.Бериташвили в расшифровке поведения, лишний раз убеждает нас в том, что быстрые процессы мозга всегда опережают медленно организующиеся отдельные этапы поведения.

В последние годы в нашей лаборатории были предприняты шаги к дальнейшей конкретизации состава и тонких нейрофизиологических механизмов акцептора действия, т.е. к дальнейшей материализации предсказания будущего. Были получены весьма интересные результаты, раскрывающие эволюционную и нейрофизиологическую суть функции "предсказания будущего".

Мы вполне можем рассматривать механизм конвергенции разнородных возбуждений на одном и том же нейроне как начальную стадию сложной интегративной деятельности целого мозга. Конечная же интеграция в масштабе целого мозга, несомненно, рождается на основе многочисленных связей между этими нейронами, в которых уже до него были обработаны на основе механизма конвергенции разнородные возбуждения.

До последнего времени нейрофизиология отмечала только такие типы конвергенции возбуждений на одном и том же нейроне, в которых приходящие к клетке возбуждения имели исключительно афферентный характер — зрительный, слуховой, тактильный и т.д. (так называемая мультисенсорная конвергенция).

Оказалось, однако, что этим видом конвергенции далеко не исчерпывается афферентный синтез, начинающийся уже в масштабе одной нервной клетки. В нашей лаборатории было показано, например, что существует особая категория корковых нейронов, вероятнее всего промежуточных нейронов, которые принимают на себя не только разнообразные афферентные возбуждения, но, что особенно важно, и эфферентные возбуждения, приходящие к этим же промежуточным нейронам по аксонным коллатералям от пирамидных клеток коры мозга.

---

[1] *Бериташвили И.С.* Структурные и функциональные основы психической деятельности. — М., 1953.

Все эти исследования были проведены микроэлектродным методом при различной комбинации кортикопетальных, кортикофугальных и антидромных возбуждений[1]. Конвергенция на одной и той же нервной клетке "копии команды", т.е. афферентного возбуждения, вышедшего на аксоны нервной клетки, с афферентными возбуждениями, приходящими от периферических рецепторных аппаратов, представляет собой все необходимые условия для оценки полученных результатов. Этот же механизм после ряда его тренировок сразу при выходе командных возбуждений и формирует функцию предсказания сенсорных параметров будущих результатов.

С раскрытием описанного выше нейрофизиологического механизма, удивительным образом созданного эволюцией для предсказания свойств будущих результатов, радикально изменилось и наше отношение к "целесообразным актам", к "предвидению" и вообще к любому прогнозированию хода будущих событий.

Здесь очень важно оценить степень вероятности самого предсказания. Некоторые авторы, принявшие в общем нашу концепцию акцептора действия, вводят, однако, различные понятия, как, например, "вероятностное прогнозирование" (Файгенберг), "потребное будущее" (Н.Бернштейн) и др.

Для успеха дела здесь уместно будет отметить, что в каждом поведенческом акте мы всегда имеем два фактора: предсказанный результат в параметрах акцептора действия и реальный результат, полученный уже при завершении действия. Из этих двух факторов наибольшей вероятностью обладает акцептор действия, поскольку его параметры подсказаны потребностью самого организма и всем процессом афферентного синтеза.

Наоборот, реальный результат в силу значительного разброса эфферентных возбуждений и чисто технических возможностей организма имеет значительно меньшую вероятность, которая оценивается и повышается при помощи обратной афферентации путем поиска и сопоставлений до уровня прогноза акцептора

---

[1] *Фельдшеров Ю.* Особенности реакций дыхательных нейронов на антидромное раздражение афферентных дыхательных путей. — В кн.: Материалы 5-й Всесоюзной конференции по электрофизиологии. — Тбилиси, 1966; Правдивцев В.А. Эфферентно-афферентная конвергенция на нейронах зрительной коры. — В кн.: Материалы межинститутской научной конференции "Интегративная деятельность мозга". — М., 1967. — С. 67.

действия. В этом и состоит физический смысл акцептора действия — в формировании приспособительного поведения вообще.

Следовательно, выражение "вероятное (?) прогнозирование" просто не соответствует физиологическому смыслу событий и поэтому неправильно ориентирует читателей, интересующихся нашими работами.

Вероятность прогноза, т.е. параметров акцептора действия, всегда максимальна и равна единице, поскольку он отражает потребность организма на данный момент. Наоборот, результат всегда менее вероятен по отношению к акцептору действия, и, следовательно, употребление выражения "вероятностное прогнозирование" едва ли является полезным при изучении живых систем.

Нельзя не отметить также того важного обстоятельства, что наконец-то стало понятным значение аксонных коллатералей, имеющих место у значительного большинства корковых, подкорковых и спинальных нейронов. Наличие их в огромном количестве являлось до последнего времени абсолютно загадочным. Зачем, казалось бы, рассылать по всему мозгу тысячи "копий команды", посылаемой в данный момент к периферическим рабочим органам?

Не удивительно поэтому, что многие исследователи последних лет останавливались в нерешительности перед этим богатейшим нервным аппаратом, ограничиваясь при оценке его замечанием о том, что "функция этих нервных образований до сих пор остается таинственной"[1].

Мы подвергли подробному обследованию функцию этих аксонных коллатералей с помощью микроэлектродной техники и выявили, что их функция состоит в длительном поддерживании циклических возбуждений, своеобразных "кругов ожидания". Поскольку таких коллатералей в общем тысячи, а каждая из коллатералей еще ветвится на несколько более тонких окончаний, то возникает представление о поразительной широте охвата действующими в данный момент эфферентными возбуждениями различных районов коры и подкорки головного мозга. Так,

---

[1] *Amassian V.I., Patton G.* The pyramidal tract: its excitation and functions. "Handbook of Physiology", section I, Neurophysiology, v.2. Washington, 1960, p. 837—862.

например, пирамидный тракт отдает еще тысячи коллатералей на уровне ретикулярной формации. Эти коллатерали через аппарат ретикулярной формации и через восходящие возбуждения еще раз способствуют поддержке активности в уже созданных "кругах ожидания" (А.С.Синичкин). Изучение длительности возбуждения в этих "кругах ожидания" показывает, что она вполне достаточна для того, чтобы с периферии уже поступила информация о результатах.

Таким образом, получил функциональное объяснение массовый характер казалось бы ненужных аксонных коллатералей у корковых клеток.

После систематических исследований в этой области мы можем представить себе всю ту картину циклических процессов между центром и периферией, которая в целом обеспечивает как получение полезного результата в итоге предпринятых действий, так и оценку этого результата в кругах возбуждения, сформировавшихся *до получения результата*, но уже содержащих в себе афферентный код этого будущего результата.

Как только принимается решение о каком-либо действии и как только возбуждение выходит на эфферентные пути, то уже в этот самый момент коллатеральные возбуждения, распространяясь по самым различным отделам мозга, создают в масштабе целой коры многочисленные системы циклических возбуждений, отражающих посланную на периферию команду и воспроизводящих опыт прошлых результатов в форме акцептора действия.

Следовательно, в момент начала действия в соответствии с принятым решением уже весь мозг, и особенно, конечно, кора головного мозга, подготавливают модель будущих результатов — акцептор действия. Эта модель осуществит в дальнейшем *прием обратной афферентации* от полученных результатов, произведет сопоставление этой информации о реальных результатах с предсказанной (или прогнозированной) моделью этих результатов. В сущности, это и есть конкретный субстрат предсказания, возбуждение которого все время опережает ход событий в функциях целого мозга.

Благодаря этим последним исследованиям вопрос о приспособлении организма к ходу будущих событий получил в нашей лаборатории чисто нейрофизиологическое решение.

6. МЕХАНИЗМ ОБРАТНОЙ АФФЕРЕНТАЦИИ

Под обратной связью в кибернетике имеется в виду более или менее точная информация о конечных результатах, полученных в какой-либо саморегулирующейся системе. И только в этом смысле обратная связь делается неотъемлемым фактором организации успешного результата. Но по самой своей сути обратная афферентация в биологических системах является изменчивой в зависимости от широких флуктуаций самого результата, и, следовательно, непременно должен быть аппарат, который ее принимает и оценивает, т.е. санкционирует тот приспособительный результат, о котором она информирует.

Именно поэтому такая афферентация в нашей лаборатории первоначально и была названа санкционирующей афферентацией, хотя впоследствии оказалось, что правом "санкции" обладает лишь акцептор действия[1].

Сама же обратная афферентация есть пассивное следствие любого результата, и успешного и неуспешного. Момент сопоставления всех параметров обратной афферентации, сигнализирующих о свойствах результата действия, с афферентной моделью этих результатов, закодированных в акцепторе действия, является критическим моментом, завершающим логику любого отдельного поведенческого акта.

Если сопоставление показывает, что параметры реально полученных результатов, закодированные в обратной афферентации, соответствуют параметрам предсказанного афферентным синтезом результата, то данный акт завершается, и организм переходит на формирование очередного поведенческого акта. Если же оказывается, что параметры результатов, закодированных в обратной афферентации, не совпадают с тем, что было сформировано в принятии решения и в акцепторе действия, то наступает момент рассогласования, являющийся стимулом для новой цепи реакций.

В этом последнем случае прежде всего немедленно возникает

---

[1] *Анохин П.К.* Проблема центра и периферии в современной физиологии нервной деятельности. — В сб.: Проблема центра и периферии в нервной деятельности. — С. 9—70.

ориентировочно-исследовательская реакция с весьма быстрой и сильной активацией корковой деятельности[1].

Это способствует активному подбору новых компонентов для афферентного синтеза и, что особенно важно, облегчает интракортикальные взаимодействия восходящих возбуждений[2].

В результате такого расширения афферентной информации формируется в конце концов и более совершенная программа действия и, следовательно, более успешные результаты, соответствующие принятому решению и акцептору действия.

Нарисованная выше картина общей архитектуры поведенческого акта является выражением универсальной закономерности в построении живых систем. Имеющая место в современной литературе тенденция найти систему, которая обеспечила бы возможность собрать в единой архитектуре результаты отдельных исследований, наилучшим образом воплощена в той физиологической архитектуре, которая получила у нас название функциональной системы.

Однако если бы мы захотели сопоставить эту архитектуру функциональной системы с любым типом саморегулирующихся механических систем или даже с функциональной организацией взаимоотношений общественного характера, то мы увидели бы то поразительное сходство принципов функционирования, которое с такой настойчивостью подчеркивал Норберт Винер. Правда, он писал об этом в своей хорошо известной книге "Кибернетика"[3], имея в виду всего лишь обратную афферентацию, или обратную связь — фид-бэк. Адрес этой обратной связи для биологических систем не был еще известен. Им стал для нас акцептор действия.

Спрашивается, в чем причина такого поразительного сходства в архитектурных чертах функционирования столь различного класса явлений? Почему и в организме, и в обществе, да и в машинах контрольный аппарат формируется раньше, чем появятся результаты, которые будут подлежать контролю?

---

[1] См. *Анохин П.К.* Внутреннее торможение как проблема физиологии. — М., 1958.

[2] *Lindsley D.B.* Attention. Consciousness, sleep and wakefulness. "Handbook of Physiology", Sec. I, Neurophysiology, v. 3, 1553 — 1593. Washington, 1960.

[3] *Винер Н.* Кибернетика. — М., 1958. — С. 20—30.

Наша концепция, по которой результат действия является центральным пунктом любой системы отношений, позволяет ответить на эти вопросы вполне четко. Наличие тождественных физиологических черт обеих систем диктуется тем, что и в той и в другой системах конечным продуктом деятельности является четко очерченный полезный результат. Именно последний представляет собой тот уравнивающий фактор, который *и в том и в другом случае неизбежным образом требует одинаковой функциональной архитектуры.*

И если бы получаемые результаты всегда математически точно соответствовали заданным результатам, то по сути дела полностью исключалась бы необходимость контроля их и не исключался бы лишь только стимул этих результатов к формированию последующего звена непрерывной поведенческой мелодии. Однако в действительности результаты всегда имеют множественный разброс около какого-то предсказанного акцептором действия эталона, необходимого именно в данный момент. Вот именно для устранения избыточных степеней свободы в получении результатов и служит во всех случаях контроль или управление на основе заготовленной модели результатов.

Где причина этого удивительного подобия функциональных архитектур у систем различного класса, какие исторические факторы обусловили организующую роль *результата действия*? Эти вопросы поднимают самое понятие результата на ступень исторического анализа и подчеркивают его универсальное и, следовательно, философское значение в картине того мира, в котором мы живем. Единственная возможность ответа на поставленные выше вопросы я вижу в анализе того критического периода в жизни нашей планеты, когда после длительного периода всевозможных "предбиологических" комбинаций материи возникла первичная организованная жизнь.

Необходимость полезного результата, как движущего и стабилизирующего систему фактора, возникла именно где-то здесь, на стыке предбиологических и примитивных биологических комбинаций материи. Следовательно, искать ответа на поставленные выше вопросы об универсальной роли результата в поддержании стабильности систем надо именно здесь.

Широкая общность законов и, следовательно, "философский

корень" кибернетики надо искать в том периоде развития нашей планеты, когда сложилась первичная необходимость полезного результата.

Однако в связи с этим нам придется несколько по-новому посмотреть на диалектико-материалистическую формулировку жизни. Сохраняя свое принципиальное содержание, эта формула, как нам кажется, на новом этапе развития наук должна включить в себя все то, что создано в последние годы биологическим и физиологическим экспериментом.

7. ОПЫТ РАСШИРЕНИЯ ДИАЛЕКТИКО-МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКОЙ ФОРМУЛЫ ЖИЗНИ

Уже сам тот факт, что центральным пунктом прогресса жизни является полезный результат действия, заключенный в единую функциональную систему, указывает на то, что для полной характеристики жизненного процесса сейчас уже недостаточно только чисто субстратного основания. Материальный субстрат не может быть основой жизни без того, чтобы он не составил какую-либо систему отношений с более или менее стабильным конечным результатом, в каком-то отношении полезным самой системе. Это вытекает из свойств саморегуляторной динамической организации, которая была нами рассмотрена выше.

Как известно, диалектико-материалистическая формула жизни, вытекающая из общих установок "Диалектики природы" Энгельса, состоит в том, что на первый план ставится специфика субстрата, т.е. белковые тела. Несомненным остаётся и сейчас, что эта формулировка Энгельса: "Жизнь есть способ существования белковых тел"[1] — является по своей глубокой материалистической сущности верной. Именно белковые тела составили тот субстрат, без которого невозможен был прогресс жизни и невозможно было совершенствование её форм.

Однако, согласно последним достижениям молекулярной биологии, "белковые тела" представляют собой настолько высокую степень организации материи, что исторический подход к развитию жизни на Земле заставляет нас поставить неизбежный

---

[1] *Маркс К.* и *Энгельс Ф.* Сочинения, т. 20, с. 616.

вопрос: а как произошли сами белковые тела? Являются ли они пассивным продуктом случайных предбиологических химических комбинаций, в миллионных количествах возникавших на основе самых разнообразных физических и химических условий нашей планеты? Или сам белок как высокополимеризованный продукт является продуктом каких-то активных процессов, толкнувших предбиологические системы на путь неудержимого прогресса?

Специальная литература о происхождении жизни на Земле и в особенности о происхождении предбиологических систем подчинена почти исключительно субстратной концепции жизни и направляет свое внимание в сторону всех тех возможных физических условий, когда-то существовавших на нашей планете, которые способствовали формированию именно таких субстратов.

Достаточно посмотреть последнюю литературу, относящуюся к происхождению жизни, чтобы увидеть, что все попытки разрешить проблему происхождения жизни на Земле связаны с поисками тех возможных условий физического, химического и метеорологического характера, которые могли бы сформировать нечто близкое по составу какому-либо из белковых компонентов. Если отвести в сторону вопрос о межпланетных причинах происхождения жизни на Земле, то в этом смысле особенно важно отметить теорию А.И.Опарина[1], Холдейна[2], Бернала[3] и др.

Характерной чертой "субстратных теорий" происхождения жизни являются поиски тех критических соединений, которые, однажды сложившись, могли бы в процессе дальнейших превращений привести в конце концов к формированию белковой жизни. Интересно отметить, что эти теории жизни, почти как правило, считают наиболее важным и критическим моментом в появлении примитивной жизни на Земле ее способность к вос-

---

1 *Опарин А.И.* Возникновение жизни на Земле. — М., 1963.

2 *Холдейн Дж.* Информация, необходимая для воспроизведения первичного организма. В кн.: Происхождение предбиологических систем. — М., 1966, с. 18—26.

3 *Бернал Дж.* Молекулярные матрицы живых систем. — Там же. — С. 76—98.

произведению, т.е. по сути дела *наиболее поздний и производный фактор жизни.*

Вполне естественно поэтому, что в связи с новыми открытиями в области биологических наук (генетика) внимание ученых стало сосредоточиваться на роли в этом процессе дезокси- и рибонуклеиновых образований.

Однако концепция поиска случайных субстратных комбинаций и планетарных катаклизмов неизбежно должна была привести к тому представлению, что *само возникновение жизни находится в зависимости от случайного наличия только соответствующего материала — белка или его компонентов.*

Как уже говорилось выше, это положение в своей общей форме правильно, ибо на всех этапах развития жизни именно белковые полимеры оказались способными обеспечить выживание. Однако последние достижения молекулярной биологии, и особенно ее достижения на клеточном уровне, дают возможность высказать предположение, что субстрат жизни, взятый как таковой, *не является единственной и решающей причиной ее появления.* Сейчас уже невозможно обойтись без динамических характеристик первичной организации, назвать ли ее "предбиологической" или даже "предорганической".

Становится все более ясным, что белковые тела, являясь высокоспециализированными и более поздним субстратом жизни, не могут быть исключительным фактором, который *подготовил* жизненную организацию в ее предбиологической фазе, а может быть даже и в предбелковой стадии.

Наоборот, последние достижения науки дают все основания думать, что появлению белка как полимерного образования и даже появлению одного единственного нуклеотида неизбежно должны были предшествовать такие динамические принципы организации материи, которые впоследствии на более высокоорганизованном уровне послужили своего рода "колыбелью" для появления и развития самих дефинитивных белковых образований.

Что же это за принципы организации? И почему они оказались столь решающими в дальнейшем подборе все более и более совершенных форм структурного развития? В разделе этой статьи, озаглавленном "Система и результат", я уже подчеркнул то важное положение, что никакая, хотя бы самая обширная, комбинация процессов и элементов не способна составить само-

регулирующуюся систему, если эта комбинация не приводит к появлению каких-то результатов, обратно влияющих на распределение взаимодействующих сил в системе и тем самым полезных самой системе.

Следовательно, до тех пор пока при взаимодействии процессов результат деятельности этой системы не станет стабилизирующим и саморегулирующим фактором, система не может быть устойчивой. Становится ясным, что всякий субстрат может быть оцениваем только на фоне уже сложившейся устойчивой динамической системы, т.е. только с точки зрения того, в какой степени, входя в систему, он способствует или совершенствует получение соответствующего результата. А это означает, что сами поиски субстрата жизни должны быть расширены поисками той формы устойчивого результата, который, став своеобразным фокусом, стал обрастать все более и более новыми компонентами, усовершенствующими или уничтожающими уже созданные ранее устойчивые системы.

Едва ли будет преувеличением, если я скажу, что стабилизация на основе принципов саморегулирования является самой первичной и самой решающей чертой жизненного процесса и именно она обеспечила поступательное развитие структур в предбиологическом периоде. Можно говорить с уверенностью, что никакие близкие к жизни субстраты, в том числе и белок, сами по себе не могут составить жизни, если они не вовлечены в какую-то более обширную систему, функционирующую по принципу саморегуляторной стабилизации.

Приведенные выше рассуждения ставят перед нами в несколько новой форме те кардинальные вопросы, которые связаны с изучением происхождения жизни на Земле. Мы неизбежно должны поставить вопрос: что произошло ранее, белковые тела и биогенные амины, которые впоследствии составили саморегуляторную систему — жизнь, или наоборот, вначале создалась какая-то или какие-то примитивные химические стабилизации с каким-то, может быть, даже еще не биологическим, результатом? Но этой стабильной устойчивости было вполне достаточно для того, чтобы такая длительно "переживающая система" стала пунктом дальнейшего субстрата усовершенствования на основе пусть весьма примитивного, но все же "естественного отбора".

В самом деле, уже самый факт наличия какой-то стабильности саморегуляторного типа и появления результата, *хотя бы только в форме самой устойчивости системы*, становится неизбежным фактором резистенции такой примитивной системы против всякого рода внешних возмущающих воздействий. Следовательно, с появлением каких-то устойчивых систем саморегуляции критерием допустимости или недопустимости нового ингредиента системы становится его значение для ее стабилизации: если от присоединения чего-то нового система становится еще более стабильной, то этого достаточно, чтобы компонент нашел в ней свое место, а система стала еще более устойчивой. И наоборот, если внешний физико-химический фактор вредит стабилизации системы, то последняя или преодолевает его действия, или сама перестает существовать как стабильная система.

На все эти вопросы можно дать только один ответ: *первичной могла быть только какая-то стабильная система процессов, для которой вначале единственно полезным результатом, очевидно, была сама ее устойчивость.*

Мы хорошо знаем из теории ультрастабильных систем, что каждая такая система неизбежно приобретает некоторую резистентность по отношению к внешним воздействиям, хотя бы уже по одному тому, что она "стремится" сохранить стабильность.

Разбирая подробно способность стабильных и полистабильных систем к адаптации, Эшби, например, пишет, что повторяющиеся действия на такую систему способствуют "отбору форм, обладающих особой способностью противостоять ее изменяющему действию". И дальше, говоря о "системах с миллионными переменами", которые на протяжении миллиона лет на поверхности Земли претерпевают самые разнообразные комбинации взаимодействий, он пишет: "Разве только чудо могло предохранить ее (Землю. — *П.А.*) от тех состояний, в которых переменные группируются в комплексы, способные к интенсивной самозащите"[1].

Я хочу еще и далее пояснить развитую выше точку зрения. Есть все основания думать, что эти первично стабилизовавшиеся системы, которые вначале могли быть

---

[1] *Эшби У.Р.* Конструкция мозга, с. 332—333.

весьма простыми в химическом отношении, в последующем могли бы стать сами своеобразными "воспитателями" сложных полимерных продуктов, которые становятся уже неотъемлемым признаком более высокого уровня предбиологических и биологических организаций.

Изложенная нами выше точка зрения не исключает грандиозной роли белковых тел в развитии жизни, она лишь только предполагает появление белковых тел, как решающего этапа жизни в системе уже сформированных стабильных систем, может быть, даже и неорганического или элементарного органического характера. Поддерживая устойчивость за счет саморегуляторных соотношений с окружающей средой, эти системы в последующем становятся усовершенствованной основой биологических систем в подлинном смысле этого слова.

С этой точки зрения наиболее близкой к истине гипотезой происхождения жизни является, как нам кажется, гипотеза А.И.Опарина о коацерватных капельных объединениях, где многие компоненты могли бы вступать между собой в самые различные взаимодействия. Этой гипотезе не хватает лишь того, чтобы разнообразные химические ингредиенты, входящие в состав этих капель, составили какую-то саморегуляторную устойчивую систему за счет динамических взаимодействий с внешней средой.

Ясно одно, что как бы ни была мала эта первичная саморегулирующаяся система, она должна иметь стабилизирующий ее конечный результат. Этот результат и должен служить поддержанию ее стабильного состояния. При этих условиях все другие окружающие систему субстраты и факторы среды могут служить или в форме доставки ей исходных материалов или в форме потребления ее конечного продукта.

Таким образом, в целом это должна быть открытая система, которая теоретически может поддерживать устойчивость столь долго, насколько окружающая ее среда будет удовлетворять описанным выше требованиям. Иначе говоря, эта гипотетическая самая первичная устойчивая система в самой своей стабилизации приобретает "полезный результат" и неизбежно должна обладать свойствами настойчиво "защищать" этот результат от посторонних "возмущений".

Особенно интересно подчеркнуть, что именно в этот момент

и должна была родиться "целесообразность" в ее объективном, научном и материалистическом смысле, или, как говорил И.П.Павлов, "в дарвинском смысле".

Поскольку у этих первичных систем устойчивость, стабильность была первым полезным результатом их деятельности, мы можем сказать, что *всякая встреча этих систем со средой, приводившая к укреплению этой устойчивости, была полезной для системы в целом.* Наоборот, все то, что нарушало ее устойчивость, становилось для нее отрицательным, неполезным. Иначе говоря, устойчивость первичных предбиологических систем стала решающим критерием самых разнообразных соотношений этих систем с окружающей их средой.

При такой точке зрения неизбежно должен возникнуть вопрос: какие же химические организации в первородном океане могли бы вступить в такого рода стабилизированные взаимодействия, и имеем ли мы что-либо подобное в известных нам в настоящее время химических взаимодействиях? Молекулярная биология дает нам достаточное количество примеров для того, чтобы допущение существования таких первичных систем стало вполне правдоподобным. И здесь прежде всего следует обратить внимание на те узловые пункты химических систем разной степени сложности, которые носят признаки самоорганизации.

Для примера можно взять хотя бы феномен так называемого "ретроингибирования", или "торможения конечным продуктом". Этот феномен имеет место у таких дробных частей обширных ценных химических реакций, что эти части по праву могут быть названы *узлами стабилизации.* Для таких открытых систем вход формируется на основе специфических реакций с окружающей средой, а выход, состоящий в формировании какого-то результата — продукта, связан с уходом или потреблением этого продукта также во внешнюю среду.

Современная литература полна примерами, когда на очень узком отрезке какого-то обширного метаболического процесса формируется своеобразный стабилизирующий комплекс, регулирующий на основе обратного влияния весь ход метаболизма в данной области. Литература по саморегуляторным приспособлениям протоплазмы на молекулярном уровне в настоящее время обширна. Можно указать, например, работы Жакоба и

Моно[1], Диксона и Веба[2], Новика и Сциларда[3] и многих других, которые показали, что в ряде случаев определенная концентрация конечного продукта в цепи метаболических реакций оказывает тормозящее действие на начальную стадию всей цепи реакции.

Совершенно очевидно, что здесь мы имеем элементарную, но типичную саморегулирующуюся систему, которая может поддерживать совершенно стабильный уровень, например, триптофана или изолейцина в данной среде и обладает определенными чертами устойчивости. Если же все, что окружает узел этой химической реакции, принять за среду по отношению к этой, как ее назвал Жакоб, "аллостерической системе", то мы будем иметь нечто подобное той предполагаемой первичной устойчивой системе, о которой мы говорили выше. Здесь уже не только устойчивость как таковая является результатом системы, но и сам конкретный продукт сам себя поддерживает в данной среде на определенном уровне его концентрации.

Пожалуй, наиболее демонстративно этот процесс развивается в случае биосинтеза цитидин-5-трифосфата. Здесь исходным продуктом является карбамилфосфат, который с помощью целой серии ферментов через стадии *L*-дигидроотовая кислота, оротовая кислота, оротидин-5′-фосфат, уридин-5′-фосфат приходит к образованию цитидин-5′-трифосфата. Мы имеем типичную саморегулирующуюся систему с весьма четким исходным материалом и конечным продуктом.

Само собой разумеется, что вся динамика этой системы будет зависеть от того, в какой степени внешняя среда по отношению к этой системе может непрерывно поставлять карбамилфосфат и аспарагиновую кислоту и в какой степени та же среда сможет потреблять конечный продукт этой саморегулирующейся системы, т.е. цитидин-5′-трифосфат.

---

1 *Jacob F., Monod J.* Genetic repression, allesteris inhibition, cellular differention. "Cytodifferentiation and Macromolecular Synthesis". 21 Symposium of the Society for the Study of Development and Growth. — N.Y. — L., 1963. — P. 30—64.

2 *Dickson M., Webb E.C.* Tne enzymes. London, 1958.

3 *Novick A., Szilard L.* Experiments with the chemeostat on the rates of amino acid synthesis in bacteria. "Dynamics of Growth Processes". — Princeton, New Jersey, 1954. — P. 21—32.

Важно отметить одно обстоятельство, что такой универсальный механизм создания и усовершенствования стабильных систем, как ретроингибирование, может эволюционировать, совершенствоваться и, следовательно, вступать в более комплексные отношения с окружающей средой системы. Конечно, следует помнить, что в данном случае мы имеем систему с органическими компонентами, т.е. систему, уже в какой-то степени получившую свое оформление в пределах обширной живой системы. Но едва ли можно сомневаться в том, что в первородном океане, который содержал миллионы различных компонентов и значительно больше этого различных комбинаций взаимодействий, что там не создавались системы подобного типа на примитивном органическом уровне, например, на основе фотосинтеза и с неорганическими катализаторами.

В разобранной выше устойчивой системе первый фермент — аспартат-транскарбамилаза в процессе эволюции может приобрести специфический пункт для ингибиторного воздействия от конечного продукта. Это показывает, что и сам фермент является специфическим продуктом саморегуляционной, устойчивой системы, приспособленным к ее химическим свойствам, т.е. по отношению к вполне определенному конечному продукту.

Этот последний факт лишний раз подтверждает вышеприведенные положения, что начальным этапом в прогрессе предбиологических систем должна была быть первичная устойчивая система с чертами саморегуляции. И только в процессе "защиты" этой устойчивости и в процессе многообразных взаимодействий системы с внешними факторами среды происходит непрерывное "обрастание" ее все новыми и новыми компонентами, вступающими в прогрессивное взаимодействие с уже имевшимися ранее компонентами этой системы.

С этой точки зрения, и первичные белковые тела, и более специализированные белки в виде ферментов явились следствием постепенно совершенствовавшихся стабильных предбиологических систем, послуживших основой для развития жизни на Земле.

В заключение этого раздела статьи отметим три важных обстоятельства.

1. Само появление устойчивых систем с чертами саморегуляции стало возможным только потому, что возник первый результат этой саморегуляции *в виде самой устойчивости, способной к*

сопротивлению против внешних воздействий. Следовательно, регуляторная роль результата системы была первым движущим фактором развития систем, который сопровождал все этапы предбиологического, биологического и социального развития материи.

2. Мы не имеем возможности допустить сейчас, что белковые тела, и в частности рибонуклеиновые кислоты, возникли как нечто отдельное и самостоятельное, на основе только чисто субстратных перекомбинаций на нашей планете, как это, например, полагает Эренсверд[1]. Сама химическая структура белковых образований, и особенно ферментов, настолько точно и очевидно приспособлена к детальным функциям саморегуляторного характера у весьма различных систем, что нет никакой возможности допустить, чтобы они могли возникнуть как бы спонтанно и независимо от этих систем, т.е. *вне принципов, удерживающих систему в стабильном состоянии.*

3. Эти новые положения, сформулированные нами, как можно было видеть, не снимают той огромной роли белковых тел в жизненном процессе, которая была сформулирована Ф.Энгельсом, и, следовательно, диалектико-материалистическое понимание основ жизни остается в силе. Однако приведенные выше рассуждения, основанные на успехах кибернетического, физиологического и биохимических исследований живых систем, дают возможность представить себе развитие жизни на Земле и, следовательно, белковых полимеров в связи с совершенствованием результата как центрального фактора саморегулирующихся систем.

8. РЕЗУЛЬТАТ КАК КРИТЕРИЙ ДЛЯ ОЦЕНКИ КИБЕРНЕТИЧЕСКИХ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ

В предыдущем изложении не раз отмечалось, что существующая до сих пор физиологическая терминология практически исключила результат действия из основных понятий рефлекторной деятельности. Это обстоятельство, как мы видели, значительно повлияло на физиологические подходы к объяснению целостных поведенческих актов.

---

[1] *Ehrensvärd G.* Life: origin and development. — Chicago, 1962.

По сути дела, то же самое в какой-то степени мы имеем и в области кибернетических представлений. Целый ряд терминов и понятий кибернетики, хотя и имеет широкое хождение среди исследователей, но именно в силу того, что из них также исключено понятие результата как основного фактора саморегуляции, эти понятия имеют весьма ограниченное влияние на самый исследовательский процесс. Ниже я постараюсь разобрать некоторые из таких кибернетических понятий, чтобы показать, в какой степени меняется их трактовка и подход к ним при внесении в кибернетические модели понятия о результате.

а) "*Управляющая система*". В числе общих представлений о кибернетике широкое хождение получил термин "управляющая система". Мне хотелось бы здесь отметить тот факт, что это понятие ни лингвистически, ни логически не соответствует тому объему представлений, которые составляют основу кибернетического мышления.

В самом деле, термин "управляющая" означает лишь то, что какое-то устройство воздействует с помощью определенных сигналов на управляемый объект, находящийся *за пределами данного устройства*. Иначе говоря, семантически "управляющий" и "управляемый" не могут быть выражены частным термином "управляющий". Кроме того, весь смысл кибернетических взаимоотношений состоит именно в том, что "управляемый", т.е. *результат действия системы*, должен непременно сообщать о степени его достаточности или недостаточности туда, где используется результат системы и где формируется программа действия.

Таким образом, выражение "управляющая система" не может быть принято хотя бы уже в силу того, что оно не отражает всего смысла кибернетических взаимоотношений. Это особенно четко вытекает из того, что смысл выражения "управляющая система" не включает в себя конечный полезный результат саморегулирующейся системы.

Предложенное нами еще в 1935 г. понятие "функциональная система", как можно было видеть выше, наиболее полно отражает основной смысл кибернетических закономерностей. Функциональная система включает в себя центральную нервную систему, в которой происходит афферентный синтез, принятие решения и складываются программы действия. Она включает также управляющее воздействие на периферический аппарат, т.е.

формирование самого действия, она включает формирование результата этого действия и весьма специфическую сигнализацию о нем, наконец, принятие и сопоставление этой информации в акцепторе действия.

Все звенья этой системы связаны взаимовлиянием, которое не происходит хаотически или неориентированно, а развивается таким образом, что все компоненты системы содействуют друг другу, т.е. их усилия фокусируются на путях получения полезного результата для данной системы или для организма в целом. Следовательно, в функциональной системе результат является универсальным организующим фактором. Именно это и определяет, в какой степени, в каком месте и в какое время включится тот или иной компонент системы.

б) *"Иерархия систем" — иерархия результатов.* Принятие положения, что результат является центральным пунктом системы, неизбежно ведет нас к иному пониманию организации целого организма, в котором происходит объединение систем и субсистем в определенной иерархии.

Прежде всего любая система, как бы она ни была незначительна по объему участвующих компонентов, должна непременно заканчиваться полезным результатом. Организм не мог бы существовать как гармоническое объединение систем с огромным количеством результатов, если бы объединялись только лишь системы в их целостном содержании. Биологический смысл формирования каждой более высокой системы на основе субсистем состоит в том, что объединяются именно результаты субсистем, а уже это объединение результатов составляет новый уровень саморегулирующихся систем с новым конечным полезным результатом.

В свою очередь эти более высокоорганизованные функциональные системы заканчиваются также результатом, а эти последние результаты могут объединяться в функциональные системы еще более высокого уровня.

Из этих положений с очевидностью следует, что когда мы говорим о том, что более высокоорганизованная система состоит из субсистем, то это надо понимать отнюдь не в прямом смысле этого выражения. Правильнее было говорить, что всякая функциональная система более высокого уровня организации составляется на основе результатов субсистем, т.е. результатов функ-

циональных систем более низкой организации. Мне кажется, что этот подход к соотношению "систем" и "субсистем" значительно расширяет наши представления об интегративной деятельности целого организма, заканчивающейся полезным приспособительным результатом.

в) *Кибернетика и "причинные сети"*. Недавно на страницах нашей печати возникла дискуссия о том, какое содержание вложить в понятие "кибернетики" как науки. Как мы уже видели, в первом параграфе этой статьи были сделаны самые разнообразные акценты на детальных сторонах саморегуляции, обеспечивающих динамическое целостное образование.

С точки зрения А.А.Маркова, акцент при определении кибернетики делается на детерминистическом характере взаимодействия частей системы[1]. Что такое "причинная сеть", если к ней применить критерий результата как центрального пункта саморегулирующейся системы? Сам А.А.Марков предлагает считать кибернетику как науку о "причинных сетях".

При ближайшем рассмотрении концепции А.А.Маркова в аспекте кибернетических закономерностей становится совершенно отчетливым, что причинная сеть не является организованным целым в кибернетическом смысле: она не имеет цели, прогноза результатов своего функционирования и, что самое главное, не имеет полезного результата функционирования, а следовательно, никак не связана в своих реорганизациях с информацией о полученном результате.

Такая причинная сеть не может быть пластичной, самоорганизующейся, ибо такая самоорганизация происходила бы вхолостую, неизвестно для чего, не приводя ни к какому положительному эффекту и не получая от этого последнего обратную информацию. Примеры с циркуляцией чемоданов по цепи человеческих рук могут быть объектом обработки с математической точки зрения. Однако, не составляя, с точки зрения кибернетической, "замкнутого цикла", они не являются удачным аргументом для определения содержания кибернетики как науки.

Если принять во внимание все приведенное нами в предыдущих разделах статьи, то формулировка и трактовка "причинной

---

[1] *Марков А.А.* Что такое кибернетика? — В сб.: Кибернетика, мышление, жизнь. — М., 1964. — С. 39.

сети" А.А.Марковым являются наилучшим аргументом за необходимость принятия результата деятельности системы в качестве основного параметра саморегуляции. В противном случае все изменения в "причинной сети" не будут достаточно детерминированны и целенаправленны. Мы должны помнить, что никаких "причин" в этой сети не может быть вне формирования конечного полезного результата, и, следовательно, только он может определить, какая причина и какие следствия должны быть получены в каждом данном участке системы.

г) *"Надежность" как кибернетическое понятие.* Хорошо известно, что надежность, пожалуй, самое устоявшееся понятие в кибернетике. Мы можем часто встретить выражение, что задачей кибернетики является "построение надежных систем из ненадежных элементов". Исходя из органического единства "система — результат", мы должны сказать, что это выражение представляет собой кибернетический нонсенс.

В самом деле, может ли быть система "надежной", если "ненадежны" ее элементы? Говоря о надежности элементов, мы в первую очередь, конечно, предполагаем или их "выход из строя", или их внезапную изменчивость в процессе работы системы. Но если отдельные элементы системы оказываются изменчивыми или нарушенными, то может ли при этом система быть "надежной", т.е. *не изменить и не нарушить взаимодействия всех ее остальных компонентов*?

Поясню этот вопрос конкретным поведенческим примером. В лабиринтных опытах у крысы был выработан в ответ на определенный сигнал навык побежки к кормушке, где крысу подкрепляли кормом. После того как крыса выработала этот навык и безошибочно различала все ходы лабиринтов, ведущих к кормушке, у нее были ампутированы все четыре конечности. Естественно, что теперь крыса не могла передвигаться обычным способом. Однако оказалось, что и теперь в ответ на те же сигналы крыса нашла возможность передвигаться к тем же кормушкам: она продвигалась к ним бочкообразно, т.е. подобно тому, как катится бочка. Благодаря этому способу она докатывалась к той же самой кормушке и получала тот же самый результат, т.е. то же самое пищевое подкрепление.

Постараемся понять этот эксперимент с точки зрения приведенных выше рассуждений. Что здесь произошло? Ясно, что из

обширной локомоторной системы животного были вырваны ее весьма значительные компоненты — конечности. Следовательно, компоненты большой системы поведенческого акта, несомненно, стали "ненадежными". Значит ли это, что вся локомоторная система осталась "надежной", т.е. неизменившейся и ненарушенной?

Физиология нервной системы на это отвечает вполне определенно: все элементы локомоторной системы в приведенном случае подверглись значительному изменению, произошло радикальное перемещение удельного веса отдельных оставшихся мышечных компонентов и резкое изменение распределения возбуждений по системам в целом. Таким образом, совершенно очевидно, что у гармонически сочетанной функциональной системы, обладавшей всеми чертами саморегуляции, каждое нарушение или изменение ее элементов немедленно ведет к *перестройке и перераспределению роли всех других компонентов системы.*

Но что же тогда в данном примере является все-таки действительно "надежным"? Надежным является *результат деятельности системы*, т.е. получение пищи. Именно он остался одним и тем же, несмотря на радикальные изменения как отдельных элементов, так и всей системы в целом.

И в этом состоит универсальный закон приспособления живых систем ко всякого рода экстренным нарушениям. Итак, приведенное выше ходячее выражение о "ненадежности" элементов и "надежности" систем является парадоксальным с точки зрения понятия о системе.

Во всех приведенных выше определениях надежности результат системы не фигурирует как фактор, определяющий все возможные модуляции и перестройки взаимоотношений элементов в пределах целой системы. Модифицируя общеупотребительную формулу надежности, мы могли бы сказать, что термин "надежность" во всех саморегулирующихся системах, как общественных, так и биологических и механических, может быть применим только к результату деятельности системы. *Именно надежность результата представляет собой тот примум мовенс (primum movens), который своими отклонениями определяет любую "надежность", любое изменение и любую перестройку как в элементах, так и в целой системе.*

Иначе говоря, как бы ни была изменена функциональная система и как бы ни было перераспределено участие ее компонентов,

элементы и вся система всегда будут надежными, если и в этих случаях оказался надежным результат ее деятельности. Применительно к живым системам это положение можно было бы сформулировать следующим образом: результат действия только потому и может стать надежным, что и элементы системы, и сама она в целом могут быть пластичными, т.е. "ненадежными".

д) *Понятие "информационного эквивалента" результата.* В первом параграфе мы говорили о том, что определения кибернетики, основанные на понятии преобразования информации, хотя и берут существенную сторону саморегуляции, однако являются недостаточными, поскольку они не отражают специфического характера архитектурных особенностей саморегуляции. В самом деле, информация может циркулировать и преобразовываться и в таких взаимодействиях отдельных компонентов, которые могут быть и не саморегуляционными. Достаточно взять те жесткие причинно-следственные отношения, которые мы, например, имеем в примере А.А.Маркова с электрическим звонком, где также происходит непрерывное преобразование информации. Однако информация, циркулирующая в саморегулирующейся системе, организует ее взаимодействия, которые оканчиваются полезным приспособительным результатом. Именно этот решающий факт заставляет нас посмотреть и на преобразования информации с несколько другой точки зрения. В этом смысле мне хотелось бы обратить особое внимание на одно из высказываний Эшби в отношении того, что представляет собой циркуляция информации в системе.

Давая в одной из своих последних работ математическое выражение переходным состояниям системы и кодирования в ней информации, он пишет: "...Суть идеи машины, которая уже давно понималась интуитивно, будучи выражена строго, сводится к тому, что в "машине" *мы видим кодированный вариант простой последовательности событий*"[1].

Едва ли можно согласиться с Эшби, что в "машине", а в данном случае под машиной им подразумевается биологическая система, кодирование подчиняется "простой последовательности событий". Конечно, в любой системе, поскольку она подчинена

---

[1] См. Зарубежная радиоэлектроника, 1964, № 5.

временной структуре нашего мира, события развертываются и кодируются последовательно. Однако в любом изолированном "блоке системы", функция которого заканчивается полезным результатом, эта последовательность и это кодирование не могут быть *безотносительными к этому результату*.

В самом деле, фактически на любом этапе циркулирования информации в функциональной системе сама информация неизбежно кодирует какую-то долю предстоящего результата, будучи подчиненной этому конечному результату. Любой элемент системы в какой-то степени отражает долю своего локального участия в получении конечного результата, и, следовательно, его информационные взаимоотношения неизбежно должны отражать какой-то *эквивалент* его участия в получении результата.

Постараюсь пояснить все вышесказанное конкретным физиологическим примером. Дыхательная система, постоянным промежуточным результатом которой является поддержание устойчивой концентрации CO_2 — O_2 в крови, служит хорошим примером того, что информация, на каких бы этапах системы она ни циркулировала, *не может быть безотносительной к конечному полезному результату*.

Допустим, что в дыхательном центре сложилась такая ситуация, что после обработки информации от хеморецепторов сосудистой системы, от хеморецепторов ткани, от хеморецепторов сердца и хеморецепторов самого дыхательного центра, т.е. после афферентного синтеза, дыхательный центр дает "команду" на периферию забрать 600 кубиков воздуха. Эта команда в объемном коде выражает нужду организма в кислороде на данный момент. Постараемся понять, как эта информация, или "команда", будет распространяться по дыхательной функциональной системе через все информационные каналы.

Из моторной части дыхательного центра возбуждение выходит по спинному мозгу и по дыхательным нервным стволам на все дыхательные мышцы: диафрагму, межреберные мышцы, брюшные мышцы, головные мышцы и т.д. Однако эта информация дыхательного центра распределяется по дыхательным мышцам отнюдь не беспорядочно. Каждая мышца получает нервные импульсации в таком временном распределении, что в конечном счете все мышцы грудной клетки сокращаются ровно настолько, что в легкие входит именно 600 см^3 воздуха. Следовательно, возбуждение,

распространявшееся по нервам, закодировало в количестве импульсаций и интервальных соотношениях именно 600 кубиков воздуха. Наряду с этим дыхательные мышцы грудной клетки в своих сокращениях проявили тот же самый ход, т.е. сократились в такой степени, что забирается именно 600 кубиков воздуха.

Пожалуй, самым интересным элементом дыхательной системы является движение информации в обратном направлении, т.е. когда взяты 600 кубиков воздуха. Статистически выражаясь, n-е количество альвеол растянуты в такой степени и в такой градации, что они забирают именно 600 кубиков воздуха. Но тогда совокупность весьма разнообразных импульсов от растяжения альвеолярных рецепторов обоих легких будет такова, что в целом эти обратные афферентации по всем волокнам блуждающего нерва должны быть эквивалентны информации именно о 600 кубиках воздуха, взятого легкими. Таким образом, круг замыкается.

Дыхательный центр после обработки всей входной информации посылает потоки эфферентных импульсов, в которых как по частоте, так и по интервалу закодирован будущий результат — *взятие 600 кубиков воздуха.* Дыхательные мышцы воспринимают эту информацию и трансформируют ее в сократительный процесс, который также в совокупности мышечных волокон отражает исходный код дыхательного центра расширить грудную клетку *для взятия 600 кубиков воздуха.* Растянутые воздухом альвеолы, несмотря на все многообразие степеней растяжения, в статистической совокупности посылают от своих рецепторов в дыхательный центр информацию о взятии именно 600 кубиков воздуха, а не 500 и 400. Эта информация приходит в дыхательный центр и вступает в сопоставительный контакт с уже известным нам аппаратом — акцептором действия. Такое соотношение было показано в целой серии специальных экспериментов.

Таким образом, сам факт получения приспособительного результата системой неизбежно определяет объем и кодирование информации на всех путях ее распространения: она всюду должна быть эквивалентна результату действия, и на путях его получения, и на путях сигнализации о получении в центральную нервную систему.

Таким образом, из теории функциональной системы следует, что циркуляция информации по компонентам системы не может быть "информацией вообще"; это всегда информация, которая в

специфическом коде данного конкретного элемента системы содержит эквивалент или будущего или уже полученного результата.

Все эти соображения, разработанные нами для всех основных функциональных систем организма, дают нам возможность сформулировать следующие положения:

а) наличие приспособительного результата во всякой саморегулирующейся и самоорганизующейся системе радикально ориентирует все потоки информации в системе на этот результат;

б) любой элемент системы проводит или преобразует информацию только в эквиваленте какой-то доли этого результата;

в) каждый элемент системы, информация которого не отражает параметров результата, делается помехой для системы и немедленно преодолевается пластическими перестройками всей системы в целом.

Мы считаем поэтому необходимым для более продуктивного исследования функциональных систем организма ввести понятие "*информационного эквивалента результата*". Как мы видели, этот эквивалент имеет место во всех звеньях системы, и, следовательно, приняв, что информация, циркулирующая в системе, всегда в какой-то степени отражает эквивалент результата, мы облегчаем себе изучение ее природы и ее функционального смысла на всех этапах циркуляции.

Мне хотелось бы в заключение этого раздела возвратиться к полемике, которая возникла между А.Н.Колмогоровым и А.А.Марковым.

Несомненно, преобразование информации в системе является одной из самых характерных черт кибернетики, хотя, как мы видели, этим понятием и не покрывается весь смысл ее как нового направления мышления. Сама информация должна быть оценена и понята всегда как какой-то эквивалент результата. Таким образом, мы можем с достаточной степенью уверенности сказать, что "причинные сети" А.А.Маркова едва ли могут быть целиком приняты в качестве основы для характеристики основных черт кибернетики как науки. Тот факт, что понятие информации в причинных сетях заменено причинно-следственными отношениями, уводит всю проблему от изучения саморегулирующихся систем и от их полезного результата.

9. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Настоящий очерк имел целью провести анализ основных кибернетических закономерностей под углом зрения более общих законов мира, которые определили на различных этапах жизни нашей планеты формирование этих закономерностей. Мне кажется, что современный материал, привлеченный нами в этом очерке, убеждает нас в необходимости выработки новых взглядов на некоторые как бы устоявшиеся общепринятые истины.

Задача дать философско-методологический анализ кибернетических закономерностей и с этих позиций по-новому посмотреть на некоторые стороны самой кибернетики, несомненно, далека от выполнения. В этом большом вопросе трудно быть уверенным, что ты стоишь у границы разрешения проблемы. Очень часто ученому приходится удовлетвориться тем, что он ставит вопрос в несколько ином плане, чем этот вопрос разрабатывался раньше.

Как можно было видеть, я попытался вывести на свет тот главный фактор, который, несмотря на его определяющий характер, остается как-то вне поля зрения исследователей. Этот главный фактор — результат деятельности системы.

Сопровождая жизнь на всем протяжении ее эволюции, результат подчинил себе все свойства и конструкции функциональной системы, которые в свою очередь обеспечили ему все более и более тонкое приспособление к все усложнявшимся условиям существования от биологического к социальному уровню. В этом именно и состоит главный смысл наличия общих законов функционирования у явлений различного класса: машин, организмов и общественных образований. Все эти классы явлений возникли, развивались и существуют в наше время на основе получения конечного полезного результата. Но именно этот последний оказывает свое императивное влияние на всю систему и на переорганизацию ее компонентов. Он и лежит в основе общих закономерностей различных классов систем.

II

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

ФИЗИОЛОГИЯ И КИБЕРНЕТИКА[1]

Бурный рост нового и своеобразного направления научного мышления, объединенного понятием "кибернетика", вполне законно привлекает к себе пристальное внимание деятелей самых разнообразных научных дисциплин. Успех этого направления понятен: оно не только глубоко научно формулирует и развивает свою теоретическую основу, но также каждодневно убеждает и в своей практической важности, в том, что оно несет с собой новое скачкообразное преобразование всех тех сторон общественной жизни, где решающее значение имеет техника. Совершенно по-новому ставится вопрос об управлении различными производящими механизмами в самом широком смысле этого слова. Достаточно указать на полную автоматизацию ряда промышленных предприятий, расчета дальнодействующих аппаратов, снарядов и вообще всех тех явлений в жизни человека, которые требуют коммуникаций, то есть отдаленных связей и управлений.

Конечным пунктом стремлений кибернетики является вскрытие на математическом основании законов деятельности головного мозга и использование этих законов для управления его процессами. На этой основе возникла особая ветвь кибернетики — теория моделирования биологических процессов в механических схемах и устройствах. Кульминационного пункта это направление достигает в попытках моделировать мозг человека в его наиболее тонких формах деятельности — вторая сигнальная система и т.п.

Не удивительно, что именно эта сторона кибернетического направления — моделирование и производство всевозможных "роботов"[2] — приобрела особенно широкую известность. И все

---

1 Вопросы философии, 1957, № 4, с. 142—158.

2 Это особенно ярко выражено в последней книге Норберта Винера — "Использование человеком человеческих существ" ("The human use of human beings", 1964).

же более глубокая и всеобщая суть кибернетики находится несколько в другой плоскости. Создание механических моделей является лишь частным следствием этой сути.

Основная трудность состоит сейчас в формулировании того наиболее специфического, что несет с собой кибернетика, и того, какой единый философский смысл заключается в ее неимоверно широкой экспансии положительно во все области человеческого знания до наук о человеческом обществе включительно.

Для обсуждения этих вопросов устраиваются международные конгрессы: почти в каждой стране представители различных областей знания собираются на специальные симпозиумы и т.д. Причем наряду с совершенно законным признанием огромных достижений, которые были получены в технике на основе применения кибернетических принципов, высказываются также и весьма разумные предостережения по поводу чрезвычайно расширяющихся претензий этой новой отрасли знания. Так, например, Луи де Бройль, очень высоко оценивая значение нового направления научной мысли, все же пишет: "...Чувство интереса, а иногда и восхищения принимает у меня оттенок недоверия...". Дальше он поясняет, на какой основе складывается этот "оттенок недоверия": "Мне кажется, что устремления кибернетики, столь полезные в качестве стимула к исследованиям, выходят в данное время за пределы той области, которую она может охватить с полным правом. Некоторые же из ее соображений явно выходят за рамки тех результатов, над которыми она может обеспечить действенный контроль"[1].

Эти сомнения становятся особенно настойчивыми и повсеместными, когда от математического анализа "сервомеханизмов" и нескольких удачных примеров моделирования физиологических феноменов кибернетика делает попытки перейти к раскрытию самых высших функций человеческого мозга и в особенности общественного поведения человека. Здесь оказался предел притязаний кибернетики, и именно поэтому возникла широкая дискуссия о смысле и методах этого научного направления.

Следует повторить, однако, что никто при этом не сомнева-

---

[1] *Louis de Broglie* "Une générale et philosophique sur la cybernétique", в журнале "Structure et évolution des techniques". Paris, 1953—1954, № 35—36, p.1.

ется в огромной важности кибернетики как области знания, устанавливающей новые перспективы исследования и обеспечивающей чрезвычайно полезные преобразования в области техники. В этом смысле надо признать весьма ценной инициативу акад. С.Л. Соболева, проф. А.А. Ляпунова, А.И. Китова, Э. Кольмана и др., которые на страницах журнала "Вопросы философии" смело поставили вопрос о недопустимости игнорирования кибернетики. Они дали возможность сделать кибернетику предметом открытой дискуссии и этим самым прекратили невежественные попытки объявить её "вредным вымыслом". Именно после этого выступления в советской прессе появился ряд статей, разбирающих различные стороны кибернетики. Особенно я должен указать на статью Ю.П. Фролова, а также на статью Иона Н. Бэлэнеску (см. журнал "Вопросы философии" № 3 за 1956 г. и № 3 за 1957 г.), которые ближе всего подходят к предмету как данной статьи, так и статьи И.И. Гальперина, помещённой в этом же номере.

Оценивая все имеющиеся в настоящее время наиболее значительные высказывания зарубежных учёных, явившиеся откликом на выступления Норберта Винера, а также и ряд выступлений наших советских учёных, можно сделать несколько существенных, на наш взгляд, замечаний, которые и послужат исходным пунктом для дальнейших наших собственных соображений по этой проблеме.

1. ПОСТАНОВКА ВОПРОСА И ЕЁ НЕДОСТАТКИ

Можно отметить прежде всего, что почти все работы, касающиеся проблемы кибернетики, берут для обсуждения какие-либо частные стороны этой теории, но не касаются её принципиального содержания, её руководящих положений. Причиной такого положения дела является прежде всего недостаточная чёткость постановки этого вопроса у самого Н. Винера. Он не развил мысль о том, на каком общем основании покоится возможность переноса, сопоставления и аналогизирования механизмов автоматической регуляции в машинных системах с работой таковых в животном организме. Вернее, он недостаточно её развил. Он не указал также и той границы, у которой должно остановиться сопоставление и моделирование живых систем и машин.

Благодаря именно этой нечёткости внимание подавляющего числа исследователей и особенно широкой интеллигенции было направлено главным образом в сторону моделирования различных функций целого организма в машинных схемах и действующих моделях (обучающиеся мыши и т.д.). Между тем моделирование — это далеко не всё то, что содержит в себе кибернетика и что от неё надо ожидать для взаимного обогащения различных наук.

Что такое моделирование? Как полагают некоторые исследователи (см., например, Бэлэнеску), это есть "воспроизведение"(!) в машинных устройствах какой-либо деятельности организма. Однако в данном случае понятие "воспроизведение" употреблено не в соответствии с точным смыслом, и потому оно скорее запутывает вопрос, чем разъясняет его. Так как такие операции с нераскрытыми понятиями начинают уже в настоящее время мешать дальнейшему прогрессу во взаимопонимании различных специалистов, то я считаю необходимым уделить им несколько подчёркнутое внимание.

Прежде всего зададим себе вопрос: что значит "воспроизвести" какое-либо явление из деятельности целого организма? Понятие "воспроизведение", употреблённое без специальных ограничительных формулировок, всегда предполагает идентичность явлений, процессов и предметов по их существу. Можно, например, воспроизвести другой автомобиль, подобный (!) первому, можно воспроизвести какой-либо индивидуальный организм, который содержит в себе все органические признаки своего вида, но нельзя с помощью радиолампы или полупроводника германия (Ross Ashby, 1952)[1] "воспроизвести" межнейрональный синапс. А между тем во всех случаях, когда речь идёт об аналогиях машинных и живых систем, понятие "воспроизводить" фигурирует как нечто само собой разумеющееся.

Так что же всё-таки "воспроизводится" в машинных моделях, и почему они так неотразимо гипнотизируют наше внимание? Этот вопрос может быть решён только на путях тщательного анализа всех сторон того многообразного процесса, который

---

[1] *Couffignal L.* "Méthodes et limites de la cybernétique" в журнале "Structure et évolution des techniques". Paris, 1953—1954, № 35—36, p. 10—11).

кажется воспроизведённым. Возьмём в качестве примера проведение через полупроводник германий, который так широко использован Эшби в его "гомеостатах". Если расположить по отношению к германию соответствующим образом подводящие и отводящие ток провода, то можно создать такие соотношения, которые во многом походят на некоторые формы синаптического проведения. Так, например, два одновременно входящих тока могут "тормозить" друг друга в полупроводнике, и благодаря этому из кристалла германия не выходит ток на отводящие провода. Создаются условия, которые могут быть признаны (как это и делают зарубежные учёные) моделью синаптического торможения, то есть, в конце концов, пессимального торможения.

Но "воспроизвели" ли мы здесь в самом деле торможение? И какую его сторону мы воспроизвели? Если произвести строжайший логический анализ этого "воспроизведения", то окажется, что мы имеем перед собой феноменологическую сторону "отсутствия чего-то" и поскольку при торможении также, в конце концов, отсутствует какая-то заторможенная деятельность, то от феномена отсутствия делается интерполяция и в существо процесса, которому и приписывается термин "торможение".

Можно было бы мне возразить, что ведь каждое моделирование предполагает получение какого-либо сходного, то есть аналогичного, феномена и что ни одна модель не претендует на тождество природы механизмов. Это действительно так. Но отсутствие чётких формулировок, определяющих, что именно моделируется и что именно "воспроизводится" в каждом отдельном случае, мешает до конца разобраться в этом запутанном вопросе, а часто ведёт к вульгаризации и самой идеи моделирования. Опасность такой неопределённости состоит прежде всего в том, что часто за сходными внешними феноменами лежит пропасть между принципиальными качествами сравниваемых механизмов. В самом деле, если выражаться языком математической кибернетики, за феноменом синапса лежат необъятно широкие вероятности изменений, поскольку его протоплазматический и ионный состав представляет собой структуру с бесконечно большой пластичностью. Наоборот, возможности полупроводника чрезвычайно ограничены, и это отнюдь не только количественные различия.

Становится ясно, что "воспроизведение" феноменологической

стороны, как одной из многочисленных сторон такого сложного явления природы, как синаптическое проведение, отнюдь не дает нам оснований питать иллюзии о полном отождествлении этих узловых пунктов в системе моделируемых процессов. Как увидим ниже, это обстоятельство является решающим в оценке кибернетики вообще как перспективного направления научной мысли.

Вместе с тем следует отметить, что весьма интересно поставленный И.Бэлэнеску вопрос, несомненно, продвигает вперед всю проблему о сходстве и различии механических и физиологических систем саморегуляции. Однако И.Бэлэнеску довольно часто высказывает категорическое положение о принципиальном различии физических и физиологических явлений, не указывая, где кончается сходство между ними и начинается различие. Так, например, сопоставляя работу механических систем и работу мозга, он пишет: "Процессы нервной системы, головного мозга являются биологическими процессами, в то время как процессы машины, как бы сложна и совершенна она ни была, являются физическими процессами (механическими, электрическими, электронными и т.д.)"[1].

Заслуживает внимания интересная попытка И.Бэлэнеску выработать классификацию тех общих законов, которые в одинаковой степени применимы как к механическим, так и к живым системам. Конечно, эти законы слишком общи и не дают пока видимой связи между законами живой и неживой природы, тем не менее они направляют мысль исследователя в определенную сторону при искании этой связи и потому могут быть приняты за положительные факторы.

Интересно отметить, что неясность и нечеткость общих принципиальных положений, на которых кибернетика объединяет разнородные научные направления, приводит к не вполне правильным заключениям даже у такого знатока этого дела, каким является Э.Кольман. Разбирая достоинства и свойства новых статистических машин, он пишет: "Тогда и были введены статистические машины, построенные на принципе перфорируемых карточек. В определенном месте на карточке пробиваются дырки, соответствующие всем учитываемым признакам. После этого перфорированные карточки вкладываются в машину, которая по

---

[1] Вопросы философии, 1957, № 3. — С. 164.

желанию подсчитывает число карточек по какой-нибудь совокупности признаков. Статистические машины, или, более общо, счетно-аналитические машины, выполняют, следовательно, логическое действие классификации..."[1]. (Разрядка моя. — *П.А.*)

Стоит лишь внимательно вдуматься в достаточно четкое описание этой машины, чтобы заметить ошибку заключения. Действительно, выполняет ли машина в самом деле "логическое действие классификации"? Не требуется большого труда, чтобы увидеть, что суть всей работы машины раскрывается как раз во второй фразе, то есть когда "в определенном месте (!) на карточке пробиваются дырки, соответствующие (!!) всем учитываемым признакам (!!!)". Иначе говоря, все логические действия проделал человек, исследователь, и задолго до того, как начала работать машина. Но что же здесь делает машина? Конечно, никакого "логического действия" она не производит и никогда не произведет. Она лишь на конструктивно-механическом основании "выдает" нужное логическое распределение карточек, сделанное задолго до того, как она стала работать. Комбинационные возможности такой машины могут быть весьма обширными, тем не менее эти машины есть только "стимуляторы", как их остроумно назвал де Бройль, то есть они воспроизводят только какие-то отдельные, нерешающие черты многообразного процесса. Умозаключения, основанные на таком сопоставлении, представляют собой разновидность хорошо известного еще в аристотелевской логике приема, получившего название "pars pro toto". Весь вопрос, конечно, в том, какая часть этого целого берется для моделирования.

Должен оговориться, что я отнюдь не являюсь противником моделирования вообще. Это было бы по меньшей мере неразумно. Но, учитывая то, что мы переживаем самый начальный период развития кибернетики как всеобщей научной теории "перекрестного оплодотворения", я полагаю, что строгая и четкая формулировка понятий, определяющих процессы и механизмы, подлежащие в каждом отдельном случае моделированию, может только помочь нам в определении границ и возможностей этого научного направления. Это особенно касается области, которая мне ближе всего, — физиологии центральной нервной системы.

---

[1] Вопросы философии, 1955, № 4. — С. 151.

Здесь мы имеем самые неожиданные заключения, способные вселить смущение в умы людей, интересующихся кибернетикой.

Так, например, оказывается, безусловный рефлекс можно моделировать, условный также можно, а рефлексы второй сигнальной системы нельзя (Ю.П.Фролов). Почему? Никаких убедительных оснований к этому не дано. Здесь мы имеем опять тот же результат отсутствия четких формулировок того, в чем именно кибернетика находит общие основания для разнородных процессов и как далеко это общее может простираться. Бросается в глаза также и другой эпизод. И.И.Гальперин в своей интересной статье с особенной настойчивостью отстаивает возможность называть машины "рефлекторными". Как увидим ниже, в самом этом требовании есть глубокая противоречивость, поскольку он наряду с этой тенденцией также отрицает возможность моделирования второй сигнальной системы. Явный парадокс! Если вторая сигнальная система ("сигналы сигналов") действует так же на основе принципа рефлекса, как и два более низких уровня организации (первая сигнальная система, безусловный рефлекс), то спрашивается, почему же вторая сигнальная система не может быть моделирована "рефлекторными машинами"?

Наряду с этим отрицанием возможности моделирования имеются также примеры и весьма общих и расплывчатых аргументов, приводимых уже с другой целью, — для доказательства возможности моделирования. Так, например, Э.Кольман, разбирая вопрос о постепенной замене мышц руки человека орудиями и машинами, считает, что также легко может быть заменен соответствующими машинами и мозг человека. В своей общей форме эта идея несомненно правильная. Однако как ее аргументирует автор? Он говорит: "Ведь наш мозг, вся наша нервная система столь же материальны, как и наши руки и созданные ими машины, и сами наши мысли, абстрактные идеи также являются порождением материи..." (там же, стр. 159).

Совершенно очевидно, что приведение к такому весьма общему знаменателю, как м а т е р и я, самых разнородных объектов и механизмов не имеет никакого конструктивного значения для самой проблемы о границах кибернетики. Такой аргумент приведен только потому, что автором не была вскрыта та существенная общая основа, которая вносится кибернетикой в науку и которая обеспечивает ей на сегодняшний день победное шествие по континентам и академиям.

2. О НЕКОТОРЫХ ЧАСТНЫХ ПРИНЦИПАХ КИБЕРНЕТИКИ

Как было отмечено выше, в большинстве литературных публикаций и в нашей советской научной прессе и в зарубежной в центре внимания стоят лишь фрагменты кибернетики. Мне приходилось не раз слышать доклады "по кибернетике", которые начинались с понятия информации и заканчивались им. Но ведь информация, как и сама теория информации, представляет собой только часть кибернетического принципа, только средство, с помощью которого создается целостная функциональная архитектура, приобретающая после этого черты, обязательные для любого другого аналогичного образования. Таким образом, весьма важный фрагмент теоретической кибернетики приобретает как бы самостоятельное значение и начинает обсуждаться и анализироваться без определения его места в общей системе кибернетических представлений.

Такая изоляция одного из звеньев целостной архитектуры особенно остро сказывается на разработке соотношений кибернетики и физиологии нервной системы. Здесь изоляция "информации" сводится к отдельному рассмотрению процессов нервной сигнализации. При такой редукции общей архитектуры целой функциональной системы организма кибернетика для физиологии теряет фактически всякий конструктивный смысл. Конечно, теория информации, чрезвычайно широко разработанная математикой, рассматриваемая даже в отдельности, способна дать направляющие идеи в изучении, например, анализаторных функций центральной нервной системы (Г.В.Гершуни, 1956). Однако этот частный процесс целой функциональной системы, сколь бы он глубоко ни разрабатывался отдельно, в отрыве от целостной архитектуры функции, никогда не умножит того специфического, что принесла кибернетика в физиологию целого организма.

В последнее время, пожалуй, еще более широко разбирается принцип "обратной связи", как обязательное включение в систему автоматически регулирующихся механизмов. Здесь также имеются попытки искать аналогичных соотношений и в живом организме. Однако и в данном случае "обратная связь" обсуждается как что-то самодовлеющее, без детального анализа ее роли в системе целой реакции. Не ставится четко вопрос: что

общего между организмом и машиной в отношении обратной связи и на какой основе генетически возникли эти аналогичные соотношения? Положение в этом вопросе несколько усугубляется еще и тем, что физиология целые столетия существовала без осознания обратной связи и потому даже вполне конкретные многолетние призывы нашей лаборатории к обязательному учету обратных афферентаций (в случае восстановления нарушенных функций) лишь с большим трудом входят в поле зрения исследователей. Следует отметить при этом, что абсолютная необходимость обратных афферентаций при восстановлении нарушенных функций целого организма нами была формулирована в совершенно отчетливой форме задолго до того, как вообще возникло само кибернетическое движение (П.К.Анохин, 1935).

Только недостаточно внимательным отношением физиологов к достижениям своей собственной науки можно объяснить то ложное мнение, согласно которому идея об "обратных связях" пришла в физиологию якобы от кибернетики. На самом деле, повторяю, она давно уже была тщательно разработана нами на основе конкретных экспериментальных моделей. Суть дела состояла в следующем.

После ряда перерезок нервных стволов у собаки эти стволы перешивались друг к другу перекрестно, то есть создавались условия так называемого "гетерогенного анастомоза нервов". Впоследствии эти модели получили название "химер", поскольку перекрестно сшитые нервные стволы проявляли целый ряд парадоксальных функциональных черт. Так, например, при прикосновении рукой к коже передней ноги можно было получить кашель и даже рвоту, передняя конечность проделывала вместе с диафрагмой "дыхательные движения" и т.д.

В большой серии этих экспериментов было выяснено, что восстановление функции нервной системы, то есть "переучивание центров", происходит при непрерывном обратном афферентировании с периферии каждого этапа восстановления функций. Можно сказать, что в каждый отдельный момент животное при восстановлении функций только тогда переходит к следующему этапу восстановления, когда оно получит с периферии обратную афферентацию, информирующую центральную нервную систему о достигнутом эффекте. Без этой обратной афферентации не может

быть и не происходит никакого восстановления нарушенных функций. Анализируя этот процесс восстановления (компенсация функций), мы пришли к выводу, что особенное значение для организма имеет та обратная афферентация, которая сигнализирует в центральную нервную систему окончательное достижение полезного эффекта. Эта обратная афферентация полностью стабилизирует ("санкционирует") то распределение возбуждений в аппаратах коры и подкорки, которое смогло дать на периферии окончательный полезный эффект. В силу такой роли конечной обратной афферентации она нами была названа "санкционирующей афферентацией" (П.К.Анохин, 1935).

В последнее время наблюдается не совсем разумная, на мой взгляд, тенденция подменить физиологические термины и понятия терминами, заимствованными из арсенала кибернетики. Широко вводятся понятия "информация", "кодирование", "программирование". Но особенно в этом отношении повезло понятию "обратная связь". Я должен категорически высказаться против такого формального переноса, ибо введенное нами понятие "обратная афферентация" и понятие "обратная связь" не только не совпадают по своему содержанию, но, наоборот, последнее значительно обедняет первое!

В самом деле, говоря о регулирующем значении обратной афферентации, физиолог немедленно же ставит перед собой вопрос о составе этой обратной афферентации как в пространстве, так и во времени. Иначе говоря, понятие обратной афферентации "зовет" к дальнейшим исканиям и ставит перед исследователем конкретные исследовательские задачи. Наоборот, понятие "обратная связь" констатирует лишь самый факт наличия связи и не нуждается в дальнейшем уточнении. В этом смысле мне казалось бы нерациональным стремиться к обязательному внедрению именно кибернетической терминологии в специальные биологические вопросы.

Приведенный нами материал о роли обратных афферентаций в саморегулирующихся приспособлениях организма убеждает нас прежде всего в том, что "обратная связь" так же, как и "информация", не могут быть вырваны из системы циклических связей, приводящих в конечном итоге к полезному эффекту. Наоборот, их смысл становится совершенно ясным именно только в этой системе циклических связей.

Сделанные в последнее время попытки приложить теорию информации к разрешению проблемы стимуляции различных форм поведения животных показали, что вся работа по применению идей кибернетики к физиологическим проблемам имеет явно ошибочную направленность.

Так, например, статистическая сложность раздражителя берется как нечто вполне определенное в смысле количества входной информации. Количество последней исчисляется по соответствующей формуле, в которой довольно полно предусмотрены все возможности градации частоты, силы и времени действия данного комплекса раздражений. Таким образом, все, что необходимо для исчисления и точного расчета информации, получаемой какой-либо машиной с автоматической регуляцией, здесь имеется. По крайней мере именно на этом пути теория информации впервые получила свое развитие и принесла богатейшие полезные материалы.

Однако положение резко меняется, когда теория информации начинает применяться к оценке и определению целостного поведения животного, как это, например, сделали в последние годы Гарнер и Хэйк (Garner and Hake, 1951).

Проблема приложения теории информации к исследованию физиологии нервной системы, и особенно физиологии высшей нервной деятельности, является чрезвычайно сложной и актуальной. Физиология, несомненно, должна взять от теории информации все, что обеспечит ей более быстрый прогресс. Но вот вопрос: что именно она должна взять?

Сделанные до сих пор попытки представляют собой только первые шаги и не вскрывают значительных трудностей на этом пути. Так, например, так называемая статистическая сложность раздражителя учитывает лишь наличное количество информации, представленное действительными внешними и внутренними агентами. Однако для организма эта статистическая сложность раздражителя, хорошо рассчитываемая математически, не составляет самой существенной информации. Для него максимальную важность имеет сигнальное значение этой информации, то есть в конечном счете биологическая значимость того, что последует только в будущем. Вот эту-то наиболее значительную долю информации теория информации пока и не может рассчитать, поскольку здесь решающим моментом в реакциях организма является пережитая им история.

Не удивительно поэтому, что американские авторы Гарнер и Хэйк допустили весьма существенные ошибки в приложении теории информации к объяснению целостного поведения, взяв за критерий получаемой информации ошибочность или правильность конечной реакции. Для физиолога ясно, что этот критерий никак не может быть использован для оценки информации. Тем более трудно согласиться с предположением, что если возникла ошибочная реакция, то мы имеем дело с "потерей информации" (?).

Как раз наоборот, чем более "тренируется" какая-либо реакция и, следовательно, чем большей становится вероятность ее правильности, тем все более и более редуцируется первоначальный состав афферентных влияний. Эта закономерность нами была названа еще двадцать лет назад "сужением афферентации". С другой стороны, при всяком внезапном увеличении внешних афферентных воздействий, как правило, увеличивается и вероятность ошибочной реакции. Таким образом, приложение теории информации к целостному поведению животного убеждает нас, что имеющихся материалов в этой области далеко не достаточно. Здесь перед физиологами и математиками стоят крайне увлекательные проблемы.

Заключая разбор тех трудностей, которые встречаются в настоящее время на пути развития кибернетики и именно ее связей с физиологией центральной нервной системы, мы можем сказать, что весь этот вопрос находится в самой начальной стадии развития. Не удивительно поэтому, что внимание исследователей направлено в сторону наиболее заметных и выделяющихся фрагментов общей системы циклических взаимоотношений, представляющих собой самую характерную и решающую черту кибернетики. В противоположность этому общие принципы кибернетики, занимающие пограничное положение с философией, вскрываются и используются с большими трудностями, а следовательно, и с меньший охотой. Однако мы уже не раз указывали, что четкая формулировка универсального характера этих общих принципов кибернетики является обязательным условием для постановки частных задач в будущих исследованиях. Именно поэтому я считаю необходимым сделать попытку установить генетическое родство между такими, казалось бы, разнородными областями научной мысли, как физиология мозга и кибернетика.

Чем они объединяются? На какой основе между ними возникает творческий контакт, который сулит все бо́льшие и бо́льшие практические результаты? Вот вопросы, которые должны быть освещены нами в последующих разделах этой статьи.

3. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КИБЕРНЕТИКИ И ИХ ПРОИСХОЖДЕНИЕ

По общему признанию, заслуга кибернетики состоит в том, что она установила тончайшие логические нити, связывающие такие области знания, которые много лет развивались независимо друг от друга. Именно здесь надо искать ответ на поставленный нами выше вопрос об общей основе, которую дает кибернетика всем наукам для "перекрестного оплодотворения".

И здесь мы должны обратиться прежде всего к самому Норберту Винеру, декларировавшему общие задачи кибернетики. В предисловии к своей последней книге он дает довольно отчетливое указание на то, откуда он получил первый толчок к поискам общего у различных, на первый взгляд, научных направлений. Он излагает взгляды Гиббса, который поставил вопрос о возможности поисков общего у различных миров явлений: насколько ответ, полученный для одного мира явлений, может быть допустим для объяснения явлений других миров? Вероятность такого переноса закономерностей одного мира на закономерности другого мира, по Гиббсу, тем меньше, чем более индетерминистичен или чем больше вероятность случайностей в каком-либо из миров. И, наоборот, возможность переноса и установления общих закономерностей между двумя мирами тем больше, чем меньше в них вероятность случайных изменений, чем менее индетерминистичен данный мир явлений. Так постановка вопроса об общих законах в различных мирах явлений неизбежно должна была войти в органический контакт с учением об энтропии.

В самом деле, с нарастанием энтропии и с уменьшением случайностей, определявших индивидуальность двух миров, становится все более и более вероятным выявление той общей основы, которую они имеют. Математика дает нам возможность искрыть вероятности общей основы у различных классов явлений, и это составляет новую черту в консолидации и в зависимом развитии различных наук нашего времени. В этом смысле ки-

бернетика делает довольно смелые попытки объединить, казалось бы, несравнимые классы явлений по их общим свойствам. Так, например, Винер, разбирая необходимость обратных коммуникаций при управлении шлюзами Панамского канала, заключает: "Следовательно, административные руководители, будь то правительства, университеты или общественные корпорации, должны принимать участие в двустороннем потоке коммуникаций, а не только в одном, идущем сверху вниз. Иначе, высшие чиновники могут столкнуться с тем, что они основывали свою политику на совершенном непонимании тех фактов, которыми располагают их подчиненные"[1].

Таким образом, мы видим, что понятие "обратная связь" особенно широко распространенное применительно к механическим системам автоматического регулирования, с одинаковым успехом применяется и к явлениям общественного порядка. Мы хорошо знаем, как эта "обратная связь" необходима в правильной организации общественно-трудовых соотношений, и каждый может для этого найти многие примеры в своей повседневной жизни. Достаточно указать, что всем известный принцип проверки результатов, получивший ходовое обозначение "контроля исполнения", представляет собой типичный пример обратных коммуникаций. Таким образом, первое теоретическое положение кибернетики о наличии общих закономерностей у различных рядов явлений и в различных науках эмпирически может быть реализовано на самых разнообразных примерах.

Однако это всего лишь только иллюстрация закона. Но такие иллюстрации далеко не достаточны для того, чтобы ответить на конкретный вопрос о природе такой общности закона обратных коммуникаций. В самом деле: почему так сложился мир физических, живых и общественных систем, что какие-то формы функционирования для них оказываются в одинаковой степени обязательными? На этот кардинальный вопрос Винер не дает ответа. Он даже не делает попытки и поставить его. Для нас же, с точки зрения философской, именно этот вопрос является центральным, ибо, ответив на него, мы легко сможем объяснить и использовать все дальнейшие разветвления логических построений

---

1 *Wiener N.* "The human use of human beings". Boston, 1954, p. 49.

кибернетики. Так как ответ на этот кардинальный вопрос касается прежде всего механических и биологических аналогий, особенно аналогии в работе машин и центральной нервной системы, то мы считаем необходимым попытаться дать такой ответ.

Прежде всего мы должны поставить вопрос: чем вызвано появление в процессе эволюции обратных афферентаций, которые положительно у всех живых существ дают информацию о степени успешности и полезности произведенного действия? Простой разбор любого рефлекторного акта убеждает нас, что обратная афферентация неизбежно должна была появиться и причиной для этого является обязательная биологическая полезность любой реакции животного, любого приспособительного акта. Живая система существует как целое до тех пор, пока ее жизненно важные константы строго поддерживаются на определенном уровне. Но вот здесь-то и должно было возникнуть препятствие для сохранения жизни. Дело в том, что любая реакция животного или любой приспособительный эффект, с точки зрения теории вероятностей, есть одна из многих возможных вариаций одной и той же реакции.

Эта рассеянность степеней свободы реакции, зависящая от особенностей многочисленных связей в центральной нервной системе, была бы одним из серьезных препятствий для развития совершенного приспособления животного к внешнему миру. Можно представить себе, что реакция животного А в зависимости от условий может иметь варианты в виде целой серии близких реакций — a^1, a^2, a^3... a^n Какая из них закрепится в структурах организма как наиболее полезная? Как организм оценит эту степень полезности данной реакции? Естественно, что без этой оценки полезности все приспособительное поведение животного превратилось бы в сплошной хаос.

И вот в процессе эволюции живых существ, вероятно, уже на очень ранней стадии развития, возникло универсальное приспособление в виде обратной сигнализации о полезности совершенного действия. Этим самым был достигнут тот уровень развития, при котором степени свободы каждой реакции (рассеянность реакции) значительно уменьшились, а организм получил возможность на основе этих обратных сигналов осуществлять непрерывную "подгонку" своего поведения вплоть до получения

максимального полезного эффекта. Именно в этой форме при изучении компенсации функций обратная афферентация и была впервые открыта в нашей лаборатории. Следовательно, обратная информация в мире живых существ является абсолютно необходимым условием выживания и потому получила свое широкое развитие задолго до того, как на Земле появился человек. Это положение очень важное. Оно нам понадобится в дальнейших рассуждениях.

Обращает на себя внимание один существенный момент, что в центре этих эволюционных превращений стоит полезность эффекта, ради обнаружения и оценки которого появилась на сцену обратная афферентация. Оно и понятно: там, где вопрос стоит о полезности эффекта, необходима и оценка степени этой полезности. Не удивительно поэтому, что эта дочеловеческая общая закономерность в последующем направляла и эволюцию человека.

В самом деле, первобытный человек, употребив впервые примитивное орудие, свое отношение к этому последнему строил также на основе оценки конечного полезного эффекта. Весь выбор орудий и их преобразование должны были покоиться на основе этого универсального закона, ибо, разумеется, не оценив полученного эффекта (обратная афферентация), первобытный человек не знал бы, в какую сторону изменять свои примитивные орудия.

Положение дела не изменилось и тогда, когда человек употребил более или менее сложные орудия, например, соху для обработки земли. Здесь, как и во всех предыдущих случаях, полезный эффект неминуемо должен был оцениваться непрерывно, на основе зрительных афферентаций, получаемых от вспаханной земли. В зависимости от характера этого конечного эффекта человек делал те или иные движения и усиливал или ослаблял давления на поручни сохи.

Здесь важно отметить одну замечательную особенность: несмотря на то, что человек начал употреблять орудия, принципиальное значение обратной афферентации в циклической системе трудового акта нисколько не изменилось. В цикл включилось лишь новое звено — орудие. И хотя некоторые трудовые процессы уже давно были подвергнуты автоматической регуляции (Ползунов, 1763; Д.Уатт, 1784), еще весьма долгое время человек был центральным звеном даже самых сложных машин. Он сам оценивал конечный полезный эффект машины и

в зависимости от этой оценки направлял энергетические воздействия на регулируемый объект. Как мы знаем, еще и в настоящее время по такому способу работает множество машин. В чем состоит здесь роль человека? Он получает от полезного эффекта, производимого машиной, обратную афферентацию и в зависимости от ее значения производит какую-то настраивающую работу, приводящую в конечном итоге к сдвигу полезного эффекта в желаемую сторону. По самой своей сути это — циклический процесс, и в него человек вставлен как "чувствительный элемент" и как некоторое "преобразующее устройство", если выражаться языком техники автоматического регулирования.

Современный этап в развитии техники автоматического регулирования дал возможность полностью исключить человека из циклических связей при получении какого-нибудь производственного полезного эффекта. Это значит, что сигнализацию о степени полезности эффекта машины теперь получает уже специальное механическое или электронное устройство, которое сконструировано таким образом, что является специфическим "рецептором" именно для данного полезного эффекта. Здесь полезный эффект "оценивается", и в зависимости от этой оценки через целую серию приборов в машину направляется регулирующее энергетическое влияние.

Если приведенные пять этапов развития оценки полезного эффекта изобразить в общепринятых символах техники автоматического регулирования, то мы получим весьма поучительный ряд схем (см. рис. 1).

Первая часть рисунка (1) дает изображение тех натуральных отношений в нервной системе, которые соответствуют натуральному приспособительному поведению живых существ. Мы видели, что такая система отношений сформировалась в истории живых существ как единственно возможная. Она является следствием той вариантности поведения, которая составляет один из кардинальных законов мира. Эта система непременно должна быть всюду, где речь идет о полезности приспособительного эффекта, и потому она неминуемо должна была сопутствовать и первым попыткам первобытного человека ввести в эту циклическую систему орудие как средство повышения полезности натурального приспособительного эффекта (II).

В сущности, на всех последующих этапах речь шла только о

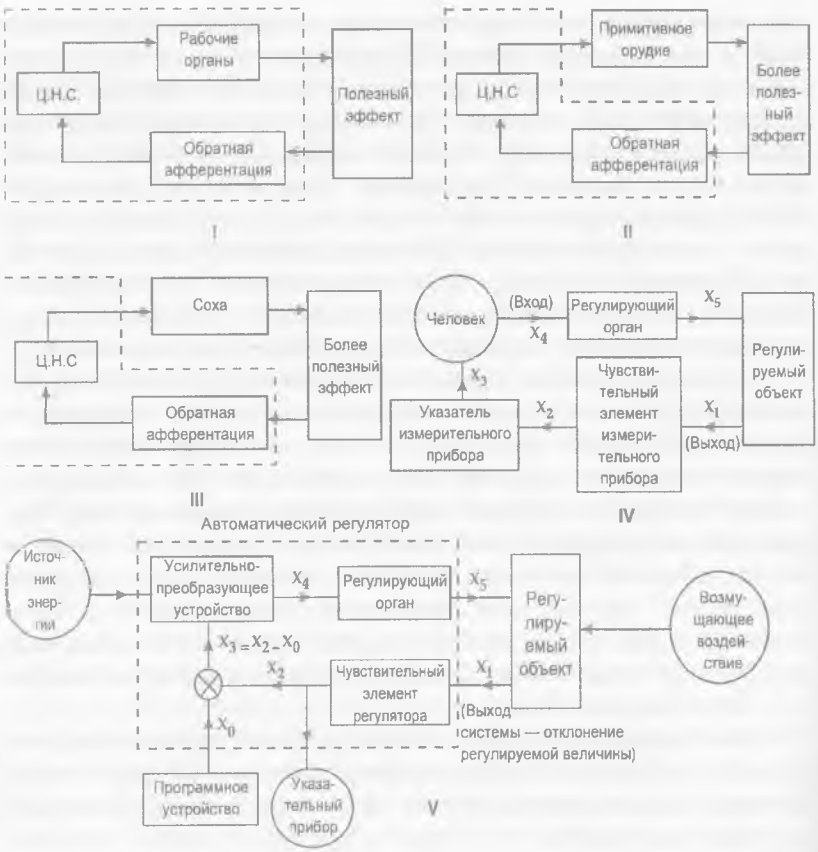


Рис. 1.

Схематическое изображение пяти стадий развития циклической системы с обратной сигнализацией оценки полезного эффекта деятельности системы. I — циклическая функциональная система животных на ранних стадиях развития жизни на Земле (дочеловеческая эра). II — стадия употребления примитивного орудия. III — стадия употребления усовершенствованных орудий труда. IV — стадия машинного производства, в котором человек является "аппаратом" оценки полезного эффекта машины и нового регулирующего воздействия на регулируемый объект. V — стадия полного устранения человека в механизмах с автоматической регуляцией. Видна принципиальная схема цикличности, которая является спутницей всего процесса в дочеловеческой и человеческой стадии развития приспособительного поведения. Части циклической системы, относящиеся к участию животного и человеческого организма, обведены пунктиром.

более эффективном заполнении этой циклической системы различными, сначала механическими, а затем и электрическими узлами, которые все более и более освобождали человека от излишних усилий (III, IV). И, наконец, на последнем этапе технического усовершенствования регуляторная роль человека в этой циклической системе была полностью устранена. Человечество вступило в век автоматической регуляции полезной деятельности машин (V). На этом пути человечество произвело несколько технических революций: сначала появились паровые машины, затем на сцену выступило электричество и сделало неузнаваемым не только промышленность, но и быт человека. Теперь мы вступили в век радио, электроники и атомной энергии. Пред человечеством открываются необъятные возможности усовершенствования его быта, коммуникаций, промышленности.

Однако если мы сравним I и V этапы нашей схемы, то заметим один поразительный факт: принципиальная схема циклических зависимостей, определяющая получение любого полезного эффекта, осталась извечной и сохранила именно ту форму, в какой эволюция нащупала ее на самых первых шагах развития жизни на Земле. По-прежнему полезный эффект имеет несколько вероятностей и потому должен быть регулируем центральной нервной системой или электронными устройствами на основе сигналов обратной связи.

Здесь мы имеем дело с одним из самых кардинальных законов жизни, который определяет собой все формы полезных приспособлений человека, до сложных машин автоматической регуляции включительно. Этот закон мог бы быть сформулирован следующим образом: всякая функциональная система, механическая или живая, созданная или развившаяся на получение полезного эффекта, непременно имеет циклический характер и не может существовать, если не получает обратной сигнализации о степени полезности произведенного эффекта.

Это и есть та общая основа, которая должна была бы быть сформулирована в четком виде в самом начале, чтобы мысль исследователей различных специальностей была строго детерминирована в обсуждении проблем кибернетики. Последняя в самом деле "нащупала" узловой пункт в развитии жизни и техники человека.

Но именно потому, что ни сам Винер, ни его последователи не сделали этот закон очевидным и не поставили его в качестве исходного пункта для всякого рода интерполяций, мы оказались в настоящее время перед грандиозным "смешением языков"...

В самом деле, если познакомиться с современной, довольно уже обширной литературой по кибернетике, то бросается в глаза огромное разнообразие частных интересов, вкусов и точек зрения отдельных авторов. Некоторые из них все свое внимание уделяют теории коммуникаций, другие — энтропии, а третьи — теории информации. Но чем объединены эти искания? Из приведенных нами схем ясно, что представленная на них циклическая система может существовать как целое только при том условии, если между ее отдельными узлами будет непрерывно циркулировать адекватная для каждого отдельного момента сигнализация. Окончательный полезный эффект такой циклической системы будет всегда находиться в зависимости от того, какая это сигнализация (или информация) в каждом отдельном звене, какой ее состав и каковы "полосы ограничения".

Именно на этой основе, то есть на основе математической обработки вероятностей входной и выходной информации, возникла теория информации. В своем теоретическом арсенале она уже имеет много изученных закономерностей и в некоторых случаях проявляет явную тенденцию к автономности и замкнутости. Однако нельзя ни на минуту забывать, что результаты этой теории могут быть использованы только в пределах той циклической системы, которая обеспечивает полезный эффект, и здесь не имеет значения, какая это система — автомат, общественные коммуникации или что-либо другое. Строго говоря, теория информации является теорией о поддержании сигнализаций и связей в пределах какой-либо циклической системы — живой или механической — с действующей установкой на получение максимально полезного эффекта.

Из приведенной формулировки видно, что разработка отдельных частных вопросов теории информации в порядке нарастающей специализации дает несомненно полезный результат только потому, что эта работа ведется в пределах все той же целостной циклической архитектуры, которая нами была разобрана выше. Следовательно, на всех этапах работы инженера, физиолога и математика их объединяет эта универсальная общая закономерность.

Здесь может возникнуть один недоуменный вопрос: почему, несмотря на столь глубокую древность закономерности циклического характера при получении всякого полезного эффекта, ее универсальные черты были вскрыты только сейчас? Иначе говоря, почему кибернетика появилась на арене научных исканий с таким большим запозданием? Ответ на этот вопрос может быть в некоторых отношениях весьма поучительным для различных специалистов, и потому ему следует уделить особое внимание.

Достаточно взглянуть на нашу схему и сопоставить ее I и V этапы, чтобы получить убедительный ответ на поставленный вопрос. Механике и физике эту общую закономерность помешал вскрыть человек, который, находясь в центре "замкнутого контура", ручной настройкой приборов и оценкой полезного эффекта машины маскировал циклическую зависимость между отдельными звеньями этого контура. И только тогда, когда путем внедрения электронных релейных установок стало возможным полностью устранить человека из управления машинами, во всю ширь встал вопрос об "обратных связях" и их кардинальном значении в теории автоматического регулирования.

Но почему же тогда физиология, имея дело на протяжении столетий с функциональными системами циклического характера, не вскрыла их истинного смысла и не "подсказала" технике идею моделирования этих циклических зависимостей в различных машинных устройствах? Теперь уже не подлежит сомнению, что физиологии в этом деле помешала рефлекторная теория Декарта. Ее чрезвычайный авторитет и та огромная польза, которую она приносила физиологическим исследованиям, на целые столетия скрыли от глаз физиолога ее недостаточность в объяснении полноценного натурального поведения животных.

Рефлекс Декарта оканчивается только ответным действием, то есть третьим и последним звеном классической "дуги рефлекса". По самой своей сути он не мог ничего дать для оценки результатов совершившегося действия. Короче говоря, физиология на протяжении целых столетий не замечала наличия обратной афферентации, которая является абсолютно обязательным звеном всякого приспособительного поведения животных. Ближайший анализ причин этого факта убеждает нас в том, что виной этого была вивисекция, которая по понятным причинам на целые столетия заняла доминирующее место в анализе

рефлекторной деятельности центральной нервной системы. В самом деле, никакая обратная афферентация о рефлекторном эффекте не может способствовать наилучшему приспособлению у собаки, привязанной к операционному столу. Она просто здесь не нужна, а поэтому и не смогла быть выявлена в многочисленных работах физиологов.

Мне не раз приходилось указывать на необходимость расширения наших обычных представлений о "дуге рефлекса", что было в свое время подтверждено вескими экспериментальными данными. И надо сожалеть, что совершенная необходимость обратных афферентаций в организме стала очевидной только сейчас, с таким значительным запозданием и к тому же лишь в результате изучения такой далекой области, как машины с автоматической регуляцией. Ясно, однако, что "обратная связь" пришла в машины только потому, что ее достоинство и полезность были проверены природой на протяжении сотен миллионов лет.

В свете этих замечаний вызывает улыбку чрезвычайная настойчивость, с которой И.И.Гальперин бьется за право называть автоматически регулирующиеся машины "рефлекторными". Смею заверить И.И.Гальперина, что если бы машины с автоматической регуляцией "задумали" работать по правилу "дуги рефлекса", они немедленно вышли бы все из строя и их деятельность была бы абсолютно бесполезной для человека. К счастью, они располагают обратной связью, которая помогает регулирующему устройству получать информацию о результатах действия, то есть именно то, чего нет в рефлексе в его декартовом понимании.

Мне могут заметить, что в условном рефлексе И.П.Павлова имеется обратная афферентация в виде "подкрепления". Это верно, но ведь подкрепление безусловным раздражением никогда не рассматривалось в школе И.П.Павлова, как именно обратная (!) афферентация. И только лишь в 1952 году в одной из наших специальных работ этот вопрос после некоторого анализа был поставлен именно в такой плоскости, в результате чего мною было предложено рассматривать "подкрепление" условного рефлекса безусловным в качестве частного случая (!) универсального правила обратной афферентации любого приспособительного акта животных и человека. Вместе с тем хорошо известно, что сам И.П.Павлов несколько раз подчеркивал, что

в основе его работы по высшей нервной деятельности лежит "представление Декарта о рефлексе". О каком же рефлексе говорит И.И.Гальперин? Едва ли рационально поэтому настаивать на том, чтобы машины с автоматической регуляцией назывались "рефлекторными", поскольку они представляют собой циклические системы, работающие по описанному выше типу[1].

Поэтому вряд ли можно поддержать И.И.Гальперина в его заключениях, да и сам он, определяя рефлекс как совокупность трех (!) звеньев, фактически опровергает свои выводы. Принимая наличие обратной афферентации о результатах рефлекторного действия, И.И.Гальперин тем самым нацело отрицает самую возможность применить термин "рефлекс" к машинам с автоматической регуляцией, поскольку даже безусловный рефлекс не является исключением из этого общего закона постоянного афферентирования результатов действия. Все дело лишь в том, что в случае безусловного рефлекса аппарат обратной афферентации не складывается в ходе постепенного приобретения опыта, а фиксируется в нервных структурах на протяжении больших эпох исторического развития данного вида животных.

Попробуйте экстренно изменить состав питательной смеси, приготовляемой для только что родившегося ребенка, и вы получите немедленную реакцию отрицательного характера: ребенок будет выплевывать эту новую смесь, и дело может дойти даже до рвотных движений (наблюдения проведены в нашей лаборатории К.В.Шулейкиной). О чем говорит этот опыт? Он говорит о том, что в процессе эволюционного развития, когда "некоторые условные рефлексы переходят в безусловные" (И.П.Павлов), происходит фиксация в нервных структурах и самого принципиального четвертого звена рефлекса — оценки результатов рефлекторного действия с помощью аппарата обратной афферентации (П.К.Анохин, 1956).

В связи с этим недостатком концепции И.И.Гальперина неизбежно возникли и последующие неправильные выводы. Так, например, он весьма ошибочно объясняет тормозные рефлексы, а также и другие явления высшей нервной деятельности.

---

[1] Наиболее близкое к сути дела название — "функциональная схема" — мы встречаем в книге Е.П.Попова "Автоматическое регулирование" (1956). Из этой книги нами заимствованы схемы IV и V рис. 1.

4. О ПРЕДЕЛАХ АНАЛОГИИ МЕЖДУ ЖИВЫМИ И МЕХАНИЧЕСКИМИ СИСТЕМАМИ

Установив общую основу для явлений разного порядка — живых, механических, общественных, — мы должны поставить перед собой вопрос: как далеко это тождество общей архитектуры соотношений может быть распространено на свойства и сущность отдельных узлов и отдельных звеньев всей циклической системы соотношений? В этом пункте как сам Винер, так и его последователи во всех странах имеют, как мне кажется, довольно определенную солидарность, хотя здесь есть много такого, с чем нельзя безоговорочно согласиться. Поскольку от четкого решения этого вопроса зависит и то, насколько успешно мы можем разрешить проблему моделирования, я позволю себе несколько подробнее представить здесь точку зрения самого Винера на этот предмет.

Он рассуждает следующим образом: если механическая система и живая система функционируют "одинаковым образом", то есть в обоих случаях имеются обратные связи и автоматическая регуляция, и если для понимания механической системы имеется математическая теория, то, следовательно, эта математическая теория в одинаковой степени может быть применена и к физиологическим системам. Так, например, теория информации может быть целиком применена к исследованию получаемых организмом всевозможных сигнализаций из внешнего и внутреннего мира, теория коммуникаций с особенностями ее расчетов ("полоса пропускания" и т.д.) также может быть применена к изучению проведения возбуждений по самым разнообразным проводникам центральной и периферической нервной системы.

Особую смелость Винер проявляет в допущениях, касающихся функции собственно центральной нервной системы. Если доказано, что функция нервной системы в отношении ряда регуляций проявляется в форме сервомеханизмов, а последние уже имеют разработанную математическую теорию, то нет никаких препятствий, с точки зрения Винера, к тому, чтобы применить эту математическую теорию и к объяснению деятельности нервной системы.

Таким образом, мы видим, что на основе действительного и несомненного тождества принципиальных циклических систем, по которым развертывается саморегуляция машин и саморегуляция

функций организма, делается определенная попытка отождествить и те конкретные звенья передач "информации", которые поддерживают единство этих систем.

Однако как далеко может быть распространен на конкретные механизмы тезис тождества общей архитектуры циклической системы организма и системы механической? От того, как мы ответим на этот вопрос, зависит и наше представление о пользе кибернетики как новой формы мышления для разработки проблем физиологии центральной нервной системы. Именно на этом пути происходит вульгаризация самого принципа аналогий.

Можно на конкретном примере показать, к каким результатам приводит в отдельных случаях перенос закономерностей механических схем на физиологические явления. Допустим, что человек полез в ящик письменного стола, чтобы взять конверт, который там обычно находится. Однако, раскрыв ящик, он не увидел конверта. Проделав несколько ищущих движений среди бумаг ящика и не найдя конверта, он закрывает ящик и начинает искать конверт на столе и в шкафах, пока его не найдет. Но может случиться так, что конверта вообще не окажется, и тогда человек может взять его у соседа, послать кого-либо на почту или сам пойти на почту, но в конце концов конверт оказывается приобретенным и письмо посланным.

Если сопоставлять, как нами дано в универсальной схеме, все эти поведенческие акты с машиной автоматической регуляции, то в известных границах мы найдем то же архитектурное сходство. В самом деле, человек, поставив пред собой цель (под действием обстановки) найти конверт, открывает ящик — это рефлекторное действие. Но это действие не закончилось тем полезным эффектом, достижение которого было поставлено как цель. Выражаясь языком физиологии, все органы чувств человека не получили той обратной афферентации, которая должна соответствовать нахождению конверта. В результате этого в центральную нервную систему поступает афферентация, не соответствующая поставленной цели.

В технике автоматического регулирования такое соотношение получило название "рассогласования". Это значит, что в регулирующее устройство вместо заданной величины U_0, которая должна быть получена при устойчивой работе системы в порядке обратной информации от регулируемого объекта, поступает ин-

формация U_1. Тогда $U_2 = U_1 - U_0$ будет выражать величину рассогласования. До сих пор аналогия между машиной и человеком по общей схеме саморегуляции может быть достаточно полной. Однако реакция организма и машины на рассогласование и поиски решения поставленной задачи значительно разнятся и принципиально не могут быть аналогизированы.

В самом деле, рассогласование в машине автоматической регуляции с заданными величинами и с известным диапазоном колебаний обратной информации может быть выражено математическими уравнениями и формулами. Точно так же и реакция регулирующего устройства на рассогласование может быть в точности рассчитана как по интенсивности, так и по составу. В результате мы имеем установку полезного эффекта на нужном уровне, а рассогласование при этом сведется к нулю.

Если мы посмотрим, каковы реакция человека на рассогласование между целью поведения и его конечными результатами, то мы можем с определенностью утверждать, что никакой математической формулой не охватить все те возможные условия, которые толкают человека на разнообразные поведенческие акты.

Кроме того, в машинах с автоматической регуляцией есть точная пропорциональность между величиной рассогласования и реакцией регулирующего устройства на эти рассогласования. Наоборот, в приведенном нами примере несовпадение между целью действия и обратной афферентацией от результатов действия не имеет никакой пропорциональности и находится в прямой зависимости от побочных условий, не входящих в данную систему циклической регуляции (нет конверта у соседа!).

Из разбора этого конкретного примера мы видим, что положение Винера о возможности перенесения математической теории сервомеханизмов на частные механизмы человеческого поведения неверно. Во всяком случае, это положение совершенно пока не обосновано разбором конкретных примеров в сравнительном плане. Между тем уверенность в возможности применения математической теории сервомеханизмов к человеческому поведению ведет и к уверенности в возможности моделирования всех без остатка поведенческих актов человека.

С этой точки зрения, надо признать совершенно правильным и сомнение Куффиньяля, который указывает на то, что "мате-

матический анализ показывает, что это неосуществимо... Одни лишь сервомеханизмы сами по себе не могут создать все человеческое мышление, и таким образом приходится отказаться от первой важной части доктрины Винера"[1].

Разобранный пример показывает, что хотя архитектурные черты циклических систем саморегуляций и являются общими для явлений различных классов, тем не менее свойства звеньев, узлов и механизмов таковы, что математические теории механических систем не всегда могут быть с успехом использованы для анализа и понимания частных механизмов живой системы мозга. Во всяком случае, на этом пути предстоит основательная и вполне конкретная аналитическая работа по установлению степени приложимости математических теорий и расчетов к отдельным конкретным формам функций и механизмов. Только при том условии возможно движение вперед в этом весьма интересном, но уже изрядно запутанном вопросе.

5. УСЛОВНЫЙ РЕФЛЕКС И КИБЕРНЕТИКА

Не случаен тот факт, что и сам Винер, и многие его последователи, да и критически настроенные авторы при анализе перспектив развития кибернетики непременно заканчивают изложение характеристикой отношения ее к условным рефлексам и к поведению человека. Мы видели из приведенной схемы, что эта органическая связь вытекает из самой эволюции циклических систем с обратной связью.

Обсуждая значение обратной связи для поведения животных, Винер называет ее "способностью живого существа устанавливать свое будущее поведение на основании прошлого опыта". Он пишет: "Обратная связь может быть такой же простой, как при обычном рефлексе, но она может быть и обратной связью высшего порядка, при которой прошлый опыт используется для регулирования не только специальных движений, но и целой линии поведения. Такая обратная связь, определяющая поведение, может проявляться, да часто и проявляется, в виде того, что нам известно в одном аспекте, как условный рефлекс, а в

---

1 Couffignal "Méthodes et limites de la cybernétique" в журнале "Structure et évolution des techniques". Paris, 1953—1954, № 35—36, p. 3—4.

другом, — как обучение" (N.Wiener. Цит. выше соч., стр. 33). Луи де Бройль, обсуждая проблемы кибернетики, пишет: "...Теория счетных машин, теория передачи сигналов... должна дать нам много сведений о нормальной и патологической деятельности нервной системы и, в частности, о механизме рефлексов". "Блестяще изученные Павловым условные рефлексы также входят в эту общую схему"[1].

Можно привести и еще ряд подобных высказываний, но дело не в этом. Нам важно сейчас установить, что именно в условном рефлексе кибернетики находят удобным для своих далеко идущих аналогий. Из приведенных высказываний следует, что приобретение опыта и использование приобретенного опыта для будущего поведения являются теми общими способностями животных и человека, подражание которым в машинных моделях закрыло бы принципиальную пропасть между "роботом" и человеком, до сих пор существующую и осознаваемую всеми кибернетиками. Но именно здесь-то и надо вспомнить то сомнительное положение кибернетики, по которому общность функциональных проявлений должна соответствовать общности их частных механизмов. При ближайшем знакомстве с этим вопросом можно видеть, что сторонники кибернетики при обращении к условным рефлексам имеют в виду то кардинальное и принципиально новое, что дало открытие условного рефлекса в начале девятисотых годов. Однако для более детального обсуждения вопроса этого уже недостаточно. Необходимо установить, какую внутреннюю архитектуру и какие механизмы имеет условный рефлекс, если его рассматривать в аспекте всех последних достижений как школы И.П.Павлова, так и вообще нейрофизиологии.

Только вскрыв глубокие физиологические механизмы условного рефлекса, мы сможем установить, что именно и в каком виде может быть заимствовано кибернетикой для моделирования и построения различных аналогий. Вместе с тем глубокий физиологический анализ механизмов условного рефлекса может показать нам, какими конкретными средствами нервная система позволяет животному и человеку использовать прошлый опыт для построения

---

1 *Louis de Broglie* "Sens philosophique et portée pratique de la cybernétique" в журнале "Structure et évolution des techniques". Paris, 1953—1954, № 35—36, p. 48, 52.

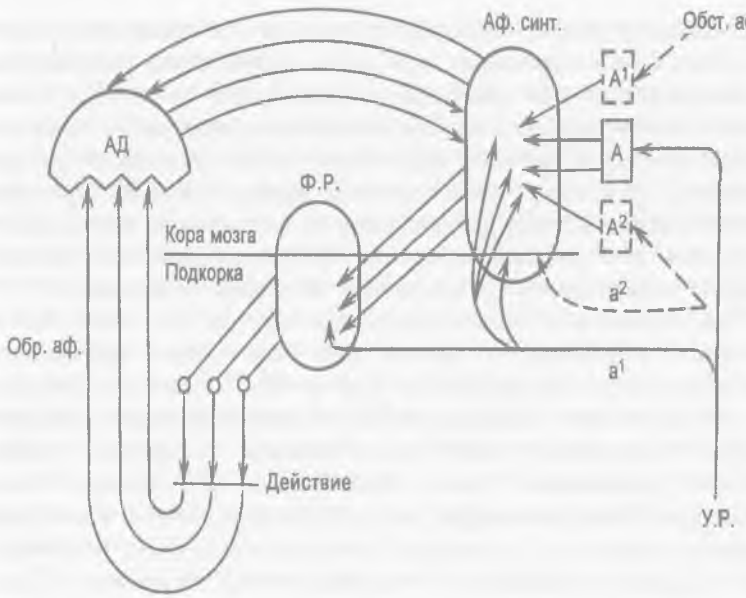


Рис. 2.

Принципиальная схема условно-рефлекторного ответа в новом освещении. А, $А^1$, $А^2$ — анализаторы, на которые падают раздражения от обстановки (обст.) и от пускового условного раздражения (У.Р.). АФФ.С. — афферентный синтез, включающий в себя и возбуждения, поступающие через ретикулярную формацию ствола мозга. Ф.Р. —формирование рефлекторной реакции. ОБР.АФФ. — обратная афферентация о результатах реакции. А.Д. — акцептор действия.

будущего поведения. А разобрав эти специфические особенности механизмов условного рефлекса, мы, естественно, сможем поставить вопрос и о том, имеются ли аналогичные приспособления в машинных устройствах с автоматической регуляцией.

Все эти вопросы можно разрешить только на конкретной схеме механизмов условного рефлекса, которые мы можем в настоящее время считать просто установленными (см. рис. 2).

Приведенная схема является синтетической. Она включает в себя все достижения современной нейрофизиологии, помогающие понять архитектуру условного рефлекса, и, кроме того, в ней отражены и те данные по физиологии высшей нервной деятельности, которые получены были нами за последние годы.

Первый пункт, требующий тщательного обсуждения, состоит в особенностях соотношения двух видов афферентных раздражений, на которых строится условный рефлекторный ответ. Их можно назвать соответственно: а) "пусковой афферентацией", представленной непосредственным действием самого условного раздражителя (У.Р.), и б) "обстановочной афферентацией", представленной совокупностью раздражений от обстановки эксперимента и от всех тех предшествовавших опыту раздражений, которые создают определенное доминантное состояние животного.

Что касается пускового раздражения, то его значение не подлежит сомнению, и именно оно более всего изучалось в многочисленных экспериментах школы И.П.Павлова. Значение же обстановочных раздражителей, подготавливающих специфическую предпусковую интеграцию нервных процессов в форме скрытой доминанты, стало ясным только в последние годы. Решающая и направляющая роль этой предпусковой интеграции нервных процессов с особенной отчетливостью была выявлена в двух формах эксперимента: в динамическом стереотипе (Купалов, Асратян, Скипин) и после удаления лобных отделов коры больших полушарий (А.И.Шумилина). В первом случае нарочито созданная стереотипная обстановка предрешает (!), в какой форме проявится условный рефлекс, независимо от того, какой пусковой раздражитель будет применен. В этой форме эксперимента была получена отчетливая диссоциация обстановочной и пусковой афферентаций, органически объединенных при экспериментировании с условным рефлексом.

Недавние эксперименты с прямым электроэнцефалографическим анализом феномена динамической стереотипии показали, что это предпусковое доминирование достигается тем, что к моменту предстоящего действия условного раздражителя в соответствующих областях коры и подкорки происходит опережающее повышение возбудимости (П.К.Анохин, А.Д.Симоненко).

Во второй форме эксперимента, проделанного в нашей лаборатории, было показано, что органическое объединение обстановочных и пусковых афферентаций и их последовательное действие осуществляются при прямом влиянии лобных отделов коры мозга. Удаление лобных отделов нарушает этот афферентный синтез, и обстановочные раздражители становятся пусковыми

раздражителями, полностью дезинтегрируя условные двигательные реакции животного.

Уже сейчас можно отметить, что для кибернетики во всех ее попытках моделировать условный рефлекс или какие-либо его фрагменты, это органическое объединение обстановочных и пусковых афферентаций, несомненно, составит "камень преткновения". В самом деле, как мы видели, совокупность обстановочных афферентаций создает предпосылку к развертыванию той или другой условной реакции. Но состав обстановочных афферентаций исключительно сложен и, что особенно важно, разнообразен и динамичен до бесконечности. Сможет ли машина когда-либо построить свое поведение в зависимости от синтеза обстановочных и пусковых воздействий на нее? Во всяком случае, это первая, но еще не последняя трудность на пути подражания условному рефлексу. Обычно же для анализа и моделирования берется изолированное действие только какого-либо пускового раздражителя.

Из приведенной схемы условного рефлекса видно, что все раздражители внешнего и внутреннего мира неизбежно должны пройти стадию афферентного синтеза. Физиологический смысл выделения этой стадии состоит в том, что никакое рефлекторное действие не может быть сформировано в эффектных аппаратах до тех пор, пока не закончен синтез всех афферентных воздействий, падающих на организм в данный момент. Именно результаты афферентного синтеза определяют, какое действие должно быть сформировано при наличии данной совокупности афферентных раздражений. Важно помнить, что без этой стадии не может быть сформирован ни один поведенческий акт животного и человека. Однако этим дело не ограничивается. Многолетние работы нашей лаборатории показали, что точно в тот же момент, когда заканчивается синтез всех афферентных раздражений и когда начинается формирование в эффекторной части соответствующего рефлекторного действия, складывается особый аппарат, названный нами в свое время акцептором действия (см. рис. 2, А.Д.). Физиологические свойства этого аппарата нами были подробно описаны в специальных публикациях, и потому я сейчас не буду на этом подробно останавливаться (см. П.К.Анохин, 1949, 1952, 1955).

Для настоящей же статьи нам важно лишь отметить два

важнейших свойства этого аппарата, о которых, к сожалению, не имеют представления авторы, делающие попытки моделировать условный рефлекс. Прежде всего этот аппарат формируется раньше, чем будет сформирован сам условный рефлекс. Следовательно, он на какое-то время опережает появление ответного действия. Это обстоятельство определяет и его дальнейшую физиологическую роль: принимая на себя (см. рис. 2, А.Д.), в форме обратной афферентации (Обр. афф.), все афферентные раздражения, которые возникают от результатов действия, аппарат акцептора действия производит сопоставление результатов афферентного синтеза с результатами произведенного действия. Таким образом, совпадение этих возбуждений заканчивает весь циклический процесс, в то время как их "рассогласование" вызывает целый ряд новых реакций, которые должны дать в конце концов рефлекторный ответ, соответствующий характеру акцептора действия. Во всех случаях так называемого произвольного поведения, как и при появлении условного рефлекса в ответ на условный раздражитель, акцептор действия является постоянным направляющим фактором, дающим возможность определить соответствие произведенного действия исходному замыслу.

Как мы уже видели из предыдущего материала статьи, во всех представлениях кибернетики вопрос "обратных связей" является центральным, поскольку благодаря им осуществляется последующая подгонка соответствующих воздействий на "регулируемый объект". Однако во всех случаях моделирования условного рефлекса по внешним чертам сходства авторы никогда не думали о том, что в головном мозгу раньше, чем появится действие, всегда формируется аппарат оценки этого действия. Мне представляется, что это — второе принципиальное препятствие для моделирования условного рефлекса, так как без акцептора действия немыслима никакая приспособительная деятельность животных и особенно человека. Фессар в своей недавней статье по кибернетике указывает, что нечто подобное существует в машинах автоматического регулирования, но он не знает аналога этому в деятельности нервной системы. Он пишет: "Употребляются также цепи "предвидения", когда рабочий механизм предупреждается заранее о будущем приходе при-

каза. Очень вероятно, что такие же приспособления существуют и при работе нервной системы. Нейрофизиологам надо попытаться решить эту трудную задачу — доказать существование таких приспособлений в различных частных случаях"[1]. (Разрядка моя. — *П.А.*)

Мы уже показали выше, что аппарат "предвидения" уже давно нами найден и, следовательно, надо только посмотреть, в какой мере он может быть воспроизведен в соответствующих механических моделях. Я лично сомневаюсь, чтобы он смог быть смонтирован в механических моделях, поскольку он всегда складывается ex tempore и всегда на основании синтеза многообразных внешних и внутренних раздражений организма. Если будущее покажет, что мы можем приблизиться к этому, то уж, во всяком случае, с обязательным учетом факта наличия такого аппарата в нервной системе.

Как можно видеть по статье И.И.Гальперина и других, все эти открытые в последнее время особенности физиологической архитектуры условного рефлекса не взяты ими в качестве исходной предпосылки для проблемы моделирования, поэтому ни сторонники, ни противники моделирования не стоят на конкретном фундаменте при обсуждении этой проблемы. Важно точно представлять себе, что именно из условного рефлекса должно быть моделировано.

Подводя итог всему приведенному материалу, мы можем высказать следующие резюмирующие положения:

1. Кибернетика — это направление мысли, стремящееся найти общие черты у явлений различного порядка и на основе этой общности раскрыть механизмы функционирования, в частности нервной системы. В этом смысле данное направление мысли заслуживает всяческой разработки специалистами различных профилей.

2. Основные исходные положения кибернетики ещё и сейчас не являются чётко формулированными, а исторические основания для наличия общих черт у разнородных явлений оста-

---

1 *Fessard A.* "Points de contact entre neurophysiologie et cybernétique" в журнале "Structure et évolution des techniques", 1953—1954, № 35—36, p. 30.

ются ещё не вскрытыми. Между тем только на этом пути можно отчётливо представить себе, до какого предела общие черты у явлений различного класса могут быть использованы для моделирования. Имеющаяся литература по этому вопросу (как зарубежная, так и наша) не даёт здесь хоть сколь-нибудь утешительного анализа.

3. Теория обратной афферентации в физиологии, развиваемая нами с 1935 года, содержит в себе все черты "обратных связей" кибернетики и потому может служить для расширения её возможностей при построении аналогичных механических моделей.

4. Общая архитектура циклических систем с обратной афферентацией или с обратной связью применима для понимания всех тех приспособительных актов человека, которые заканчиваются полезным эффектом. В этом смысле вторая сигнальная система как специфическая принадлежность человека целиком подчиняется этому правилу.

5. Никакие модели условно-рефлекторных ответов не могут претендовать даже на отдалённое сходство с действительным условным рефлексом, если в них не будут учтены два кардинальных процесса: а) процес афферентного синтеза и б) образование акцептора действия как аппарата "оценки" результатов действия.

ПРЕДИСЛОВИЕ[1]

к книге П. Косса "Кибернетика. От человеческого мозга к мозгу искусственному".

Предлагаемая вниманию советского читателя книга посвящена изложению основных проблем кибернетики. Кибернетика как новая область науки уже при своём возникновении тесными узами связала свою судьбу с физиологией, изучающей функционирование живого организма.

Важно было выяснить, в какой степени живой организм и саморегулирующиеся машины, до самых сложных счётных машин включительно, могут быть сопоставлены в основных своих функциональных проявлениях.

С самого начала бросается в глаза одно замечательное обстоятельство. В то время как электроника, механика и вообще техника машиностроения весьма широко использует это новое направление научной мысли (теория коммуникаций, обратной связи, информации и т.д.), физиология ещё очень медленно устанавливает конкретные взаимоотношения с кибернетикой.

До сих пор ещё трудно ответить на вопросы: обогатила ли кибернетика физиологическую мысль? Усовершенствовала ли она методы исследования физиологии и к постановке каких новых вопросов она привела?

А что приобрела кибернетика от связи с физиологией? Какие особенности функционирования организма оказались новыми для кибернетики и на какие новые исследования физиология натолкнула её?

К сожалению, научного ответа на эти вопросы в настоящее время нет. Всё ещё подыскиваются более или менее подходящие аналогии в функциях организма и в работе машин. Особенно распространённым оказалось моделирование различных функций организма с помощью всевозможных электротехнических при-

---

[1] В кн.: *Косс П.* Кибернетика. От человеческого мозга к мозгу искусственному. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958, с. 5—19.

способлений (Уолтер, Эшби и др.). Однако мы не можем указать на какое-либо серьёзное изменение физиологических представлений в связи с развитием кибернетики как научного направления.

Среди физиологов по этому поводу имеются весьма противоречивые мнения. В то время как одни из них приветствуют кибернетику и предрекают ей большое будущее, другие, напротив, полны скепсиса и недоверия в отношении какого-либо прогрессивного влияния её на рост физиологических исследований.

Так, например, Фессар, Гершуни и др. считают, что отдельные принципы кибернетики могут быть с пользой применимы к изучению проблем физиологии, особенно это касается теории информации (Фессар, 1954; Гершуни, 1957). Фултон же весьма резко отвергает предположение о том, что кибернетика может оказать помощь физиологическому исследованию. Он пишет:

"Кибернетика ничего не разъясняет, не даёт никаких новых концепций и вызвала среди физиологов лишь замешательство... Нейрофизиология была запутана этим неудачным термином, и едва ли можно сомневаться в том, что её прогресс будет зависеть от устранения этого термина..." (Фултон, 1953).

Если и невозможно согласиться с этим высказыванием, то всё же нельзя не отметить, что физиология в самом деле мало сделала, чтобы приблизиться к тем обобщениям, которые так смело делает кибернетика.

Понятно поэтому появление как легковесных заявлений и обещаний сконструировать "думающую машину", так и полного отрицания какой-либо значимости кибернетики для физиологии, как это мы видели в высказывании Фултона.

В свете этих противоречивых мнений становится особенно понятным значение таких книг, какой является книга проф. Поля Косса "Кибернетика".

Её автор — известный французский психиатр, специально занимающийся изучением возможностей приложения кибернетических принципов к исследованию мозга. Он ознакомился как с биологической, так и с математической сторонами проблемы и особенно подробно рассмотрел проблему аналогий и проблему моделирования. Всё сказанное делает особенно ценной ту осторожность, которую проявляет П. Косса по отношению к далеко идущим притязаниям со стороны авторов всевозможных моделей живых существ.

С особенным интересом читаются те главы, в которых П. Косса убедительными аргументами показывает логические ошибки сторонников чрезмерных и неоправданных экстраполяций.

На протяжении всей книги автор разбирает ряд примеров моделирования и показывает границу возможностей "живой модели".

Особое внимание он уделил "обратной связи", разновидностям этих связей в различных механизмах и в различных функциональных проявлениях организма.

Словом, книга П. Косса относится к тем произведениям в области пограничных проблем науки, в которых авторы не поддаются соблазну легковесных обещаний и прогнозов.

Вместе с тем следует отметить, что при анализе основных принципов кибернетики П. Косса далеко не использовал тех возможностей, которое предоставляет для этого современная физиология. Как и большинство зарубежных авторов, он совершенно не затронул вопроса о тех объективных законах природы, которые делают *неизбежным* наличие общих черт у таких различных классов, как машина, организм, общество.

Между тем только раскрыв эти объективные законы, можно определить место каждой частной проблемы в системе наук.

К числу таких всеобщих законов во всех случаях саморегулирующихся приспособлений можно отнести *полезность конечного эффекта*. Только от него и ради него могут циркулировать всевозможные "информации" и только степень полезности приспособительного эффекта данного действия может служить инициативным стимулом для реорганизации всех аппаратов и приспособлений, определяющих конечный полезный эффект. С тех пор, как на земном шаре зародилась жизнь, полезность конечного эффекта стала важнейшим фактором жизни, в том числе и действий человека — первобытного и цивилизованного.

Именно получение и "подгонка" полезного эффекта, как в живом организме, так и во всех творениях рук человеческих, потребовали появления обратной связи в машинах и обратной афферентации у организмов.

Недостаточное внимание к этому решающему моменту в проявлении приспособительных действий может повести, да и ведет в ряде случаев, к потере общей архитектуры саморегулирующихся систем.

В самом деле, что такое *саморегуляция* в широком смысле слова? Это такая система взаимодействий, при которой *само отклонение функций от нормы служит стимулом к возвращению нормы.*

Совершенно очевидно, что такая система может быть полезной организму только в том случае, если имеется какой-то устойчивый полезный эффект, ради которого и происходит всякая реорганизация системы. Больше того, эта реорганизация должна начаться с отклонений указанного полезного эффекта.

Именно в этом состоит концепция функциональной системы, разработанная задолго до появления кибернетики.

Если эта важная закономерность не принимается во внимание при анализе саморегулирующихся систем, неизбежно возникают ошибки в оценке всего сложного процесса как приспособления организма, так и действия саморегулирующихся машин.

В условном рефлексе эти требования конечного полезного эффекта полностью соблюдены, поскольку подкрепление его, например, пищей представляет собой *обратную афферентацию*, целиком соответствующую качеству тех возбуждений, которые были вызваны к жизни условным раздражителем. Следовательно, здесь мы имеем "замкнутый контур", все части которого соподчинены конечному полезному эффекту.

К сожалению, П.Косса не выявляет своего отношения к этому важному узловому процессу. Это мешает ему дать правильный анализ им же самим приведенных фактов.

Возьмем, например, оценку роли потряска в мельничном деле. П.Косса без всяких оговорок относит его к историческим предшественникам *обратной* связи (стр. 37). Но выполняет ли на самом деле потрясок эту роль?

Чем представлен *конечный полезный эффект* во всем мельничном процессе? Очевидно, количеством и качеством муки. Именно этот эффект составляет конечную цель всей мельничной конструкции, начиная от плотины и ее заградительных щитов и кончая регуляцией подсыпки зерна.

Постараемся построить всю цепь постепенно развивающихся звеньев в этом процессе (см. рисунок).

Если бы вся эта конструкция работала по типу саморегулирующихся машин с обратной связью, то "регулируемый объект", или конечный полезный эффект — *количество и качество*

муки, — должен был бы сам через обратную связь O_1 влиять на исходный энергетический фактор, то есть на напор воды (пунктирная линия).

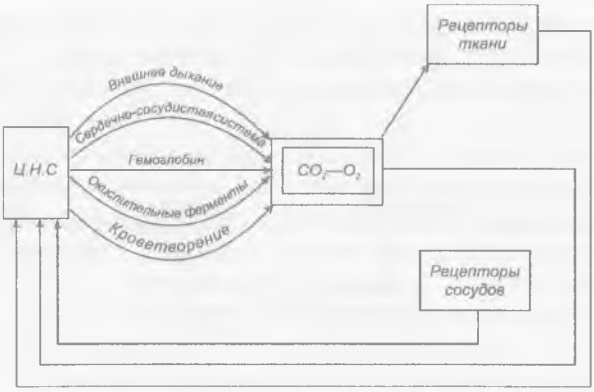
Вполне возможно представить себе, что количество муки, как и ее качество, с помощью специальных чувствительных устройств могут быть улавливаемы на конечном этапе. Затем в зависимости от настройки этих чувствительных устройств могут быть изменены энергетические условия, заводящие всю цепь процессов.

Все это в конечном счете определяло бы нужную степень размола зерен и качество муки. В этом случае мы имели бы типичный "замкнутый контур" с обратной связью.

В действительности всего этого нет; качество муки является здесь пассивным результатом другой и побочной регулирующей системы — потряска.

Однако мы и здесь не видим "замкнутого контура" с обратной связью. Если бы в этом маленьком, так сказать, этапном звене существовала обратная связь, то *она могла бы существовать только от вращения жернова к вращению оси* (вторая пунктирная линия O_2). Но в действительности и этой связи нет, ибо скорость вращения жернова не зависит от подброски зерна, которая лишь улучшает условия трения жернова друг о друга.

Таким образом, в этом излюбленном кибернетиками примере мы также не имеем саморегулирующейся системы с обратной связью. Мы имеем здесь *параллельную* линию связанных процессов (A_1 и A_2), которые благодаря *предварительной настройке* дают в конечном звене нужный полезный эффект.



Насколько важно оценку саморегулирующихся систем вести от конечного полезного эффекта, можно видеть на примере типичной функциональной системы организма, которая обеспечивает постоянный уровень окислительных процессов — по функции газообмена.

В клинических и экспериментальных условиях подробнейшим образом проанализированы физиологические результаты удаления одного легкого. Именно в подобных случаях, то есть при компенсации дефектов, функции саморегулирующейся системы организма проявляют себя особенно отчетливо. Вся совокупность саморегуляторных приспособлений при поддержании конечного полезного эффекта для организма легко может быть выражена в вышеприводимой принципиальной схеме. Она является типичной абсолютно для всех функциональных систем циклического типа и может служить своего рода эталоном для расшифровки также и более сложных функциональных систем, например тех, на основе которых строятся акты поведения.

В этой типовой схеме центральным пунктом является конечный полезный эффект — отношение CO_2—O_2. Малейшие изменения этого отношения немедленно ведут к включению одного из многочисленных механизмов, которые немедленно выравнивают нарушение этой важной для организма константы. По такому типу построены также саморегулирующиеся системы, поддерживающие осмотическое давление крови, постоянный уровень сахара в крови и т. д.

Анализ функции потряска, который был сделан П.Косса,

значительно отступает от приведенной нами универсальной архитектуры функциональных систем с саморегуляцией. Это влечет за собой важные последствия.

В этой связи уместно рассмотреть пример с саморегуляцией акта стояния, который приводит П.Косса на стр. 47.

Как можно судить по рис. 6, вся система саморегуляции акта стояния у П.Косса начинается с проприоцепторов и кончается проприоцепторами. Это — явная переоценка роли проприоцепторов, и, к сожалению, П.Косса в этом не одинок.

Между тем вопрос о составе этой саморегулирующейся системы был бы очень легко решен, если бы за исходный пункт анализа была взята изображенная на рис. 7 схема.

В самом деле, исходя из типовой схемы любой саморегулирующейся системы, мы должны прежде всего поставить два вопроса: 1) какой конечный полезный эффект имеет данная функциональная система и 2) каков состав той обратной афферентации, которая информирует нервную систему о достижении полезного эффекта? Эти два вопроса, на наш взгляд, являются ключом к раскрытию любой сложной саморегулирующейся системы.

Применительно к акту стояния мы должны соответственно ответить на эти вопросы: конечным полезным эффектом является удержание вертикального положения, а обратной афферентацией, информирующей о достижении этого полезного эффекта, являются зрительная и лабиринтная афферентации, особенно последняя. Проприоцептивная же афферентация играет также немаловажную роль — она стабилизует достигнутый полезный эффект, делает его устойчивым. Однако *проприоцепторы по самой своей сути не могут дать полноценную и конечную обратную афферентацию о достижении адекватного полезного эффекта.*

Так, например, с помощью проприоцепторов мы никогда не сможем оценить *результаты* движения руки при взятии какого-либо предмета, но они помогают достижению этого эффекта, создавая наиболее экономный тип направленного движения. Проприоцепторы по самой своей сути не могут информировать мозг о том, взят ли в руку нож или вилка или какой предмет взят с полки, хотя биомеханика самого движения организуется под значительным контролем проприоцепторов.

Никакая саморегулирующаяся система, если только она заканчивается полезным эффектом для организма, не может быть

построена только на проприоцептивной информации. В этом смысле пример П.Косса не является удачным и опять-таки благодаря отсутствию систематизированного физиологического представления о функциях целого организма.

* * *

Во всех попытках сопоставления функций живого организма с работой саморегулирующихся механизмов большую роль играет проблема "программирования". Серьезное внимание ей уделил и П.Косса. Он совершенно справедливо замечает, что всякие антропоморфические выражения, вроде "думающая машина", "память" или другие подобные этим, запутывают вопрос. Сама программа действия для машины, требующая часто сложных и длительных вычислений и реализуемая в том или ином виде карт или лент, является наилучшим доказательством *механических способностей машины.*

Эти способности по скорости и объему операций могут быть потрясающими и экономят работу тысяч людей. Однако характер работы, как бы ни была сложна машина, *предопределен* конструкцией машины, мыслью человека.

В человеческой деятельности более широкого плана эти черты программирования выступают еще более отчетливо. Так, например, тот эффект, что молоток забивает гвоздь, а штопор вытягивает пробку, целиком зависит от той "программы", которая предписана им человеком и которая материально реализована в соответствующей форме и конструкции этих орудий. Тот факт, что машины в самых сложных их конструкциях превратились в саморегулирующиеся механизмы с обратной оценкой результатов действия, то есть конечного полезного эффекта, является отражением той закономерности, согласно которой развивались все целесообразные приспособительные действия самого человека в отношении внешнего мира.

Таким образом, давая общую характеристику программирования работы машины, мы могли бы сказать, что программа — *это предопределенный и более или менее жесткий путь к получению желаемого полезного эффекта.* В одном случае этот путь может быть очень длинным и сложным, а в другом он простой и короткий. Можем ли мы здесь найти хотя бы отдаленную аналогию с функциями человеческого организма?

П.Косса несколько нечетко ставит этот вопрос, и его можно понять так, что здесь лежит непроходимая пропасть. Но этого нет на самом деле.

Противопоставляя действия человека действиям даже самых сложных машин, П.Косса все время указывает на "большую гибкость", изменчивость и, так сказать, "произвольность" в действиях человека. *В общих чертах* это, конечно, верно. Однако одного указания на это недостаточно. Попытаемся выразить в тезисах некоторые специфические черты организации нервной деятельности человека.

1. Программа действия любой, даже самой сложной машины предопределена еще до постройки самой машины. Она не может складываться ex temporе в зависимости от того, как сложились в данный момент окружающие условия. Машина не может учитывать окружающие условия и на основе их строить свою программу действия.

2. У животного и человека "программирование" действий есть всегда *следствие динамического синтеза* внутренних и внешних факторов. Только после этого афферентного синтеза формулируется *намерение* к совершению того или иного, но вполне определенного действия. Количество этих синтезов, как и комбинаций внешних условий, беспредельно, и потому возможности программирования поступков человека столь же беспредельны.

3. Для человека вопрос "Что делать?" является динамически изменчивой функцией, зависящей от совокупности внешних и внутренних афферентаций, имеющихся в данный момент. Для машины этого вопроса не существует. Ее действия предопределены и рассчитаны при конструировании. Говоря образно, если бы машины были наделены способностью афферентного синтеза и осуществляли свои действия в зависимости от этого синтеза, то машина, изготовляющая консервные банки, будучи поставлена в цех обувной фабрики, должна была бы начать выпускать полуботинки...

Если мы добавим к сказанному, что одна и та же машина может принимать участие во многих тысячах отдельных действий (на эффекторном конце), то едва ли правильно считать, что здесь вопрос только в количестве комбинаций. Вернее сказать, что для осуществления столь динамических и разнообразных функций, какие присущи человеческому организму, необходима другая и конструктивная и материальная основа — *нужна была*

бы живая материя с ее беспредельной молекулярной изменчивостью. А это значит, что различие является несомненно качественным!

4. Все описанные выше особенности формирования поведения у животных и человека не являются единственными. Все они осуществляются в плоскости *настоящего*. Замечательной особенностью мозга животных и человека является предвосхищение будущих событий и формирование поведения в связи и по поводу тех событий, которые могут наступить в будущем.

Трудно представить себе машину, которая внезапно изменила бы свою конструкцию и начала действовать, как говорил И.П.Павлов, "предупредительно" по поводу каких-то новых и еще предстоящих, то есть будущих, событий.

Физиологические особенности условного рефлекса как предупредительного, сигнального действия и состоят прежде всего в том, что происходит синтетическая работа всех афферентных отделов коры головного мозга, и в особенности лобных отделов. Эта синтетическая работа непременно завершается формированием поведения в точном соответствии с совокупностью афферентных воздействий на организм. Этому не могут соответствовать никакие механические ассоциации.

Здесь можно еще раз указать на две исключительно важные черты в формировании поведения животных и человека, возможности моделирования которых трудно представить в настоящее время.

Первая черта состоит в том, что афферентная сигнализация животным и человеком воспринимается не пассивно, наподобие tabula rasa, на которой внешний мир пишет свои узоры. Животные и человек *активно* собирают те афферентные сигналы, на основе которых в последующем совершится процесс афферентного синтеза. Они активно направляют свои рецепторные поверхности в сторону различных факторов внешнего мира, перебирая и обследуя их в течение определенного времени. Как известно, этому служит ориентировочно-исследовательская реакция, названная И.П.Павловым "рефлекс: Что такое?".

Мы знаем теперь благодаря целому ряду нейрофизиологических исследований, что при активном подборе афферентных сигнализаций внешнего мира благодаря вмешательству ретикулярной формации ствола головного мозга происходит значительное по-

вышение возбудимости соответствующих рецепторных аппаратов на периферии (Granat, Dell, Снякин и др.). Таким образом, афферентный синтез, всегда предшествующий формированию конкретного действия, является весьма динамичным и активным процессом, и не случайно, что в обратной форме он был назван "творческим" процессом (И.П.Павлов).

Трудно представить себе такую машину, которая бы "обнюхивала" и "осматривала" механика или рабочего и на основе этой информации решала, какой продукт ей произвести в данный момент...

Таким образом, несмотря на то, что и машина и животное *функционируют в пределах одной и той же циклической функциональной системы с обратными влияниями*, их приспособительная деятельность принципиально отлична друг от друга.

Вторая черта приспособительной деятельности, которую необходимо здесь отметить, — это особенность того или иного действия "программирования" в центральной нервной системе.

Как уже говорилось выше, вопрос о том, "Что делать?", решается сразу же после стадии афферентного синтеза.

Но раньше, чем сформируется соответствующее действие, создается особый афферентный аппарат, являющийся следствием афферентного синтеза. Этот аппарат, названный нами акцептором действия, производит завершающее сопоставление того, что было предпринято, с тем, что выполнено.

Несовпадение этих двух моментов является стимулом для производства новых и новых действий, пока какое-то из них не удовлетворит основным афферентным качествам акцептора действия.

Мы можем, таким образом, сказать, что "программирование" какого-либо действия у животного одновременно включает в себя и образование аппарата проверки успешности выполнения намеченной программы.

Афферентный синтез и формирование "программы" действия, а также проверка успешности ее выполнения у животных и человека являются динамическими, всегда приспособленными к соответствующей внешней и внутренней ситуации. Отсюда ясна возможность даже в отдаленной форме моделировать "робот", который сумел бы формулировать "программу".

Машина начинает свою деятельность всегда с формирования действия, то есть с осуществления программы и *никогда с*

афферентного синтеза. Эту первую стадию всегда выполняет сам человек.

Таким образом, мы видим, что приспособительное поведение животного включает в себя как единую функциональную систему то, что поделено между человеком и машиной в случае машин с автоматической регуляцией.

В настоящее время неизвестны машины, которые, формулируя программу действия, одновременно формировали бы и аппарат проверки будущего действия.

* * *

Нам осталось сказать еще несколько слов о "памяти" как о свойстве сложных счетных машин. Можно согласиться с П.Косса, что употребление этого термина для обозначения функций машин скорее запутывает, чем помогает решению важнейших проблем. Такой антропоморфизм методологически несостоятелен.

Память предполагает различение общего плана и частных специфических особенностей различных запоминаний.

Говоря о том, что какой-то процесс "оставил след", мы объединяем огромную группу явлений органического и неорганического мира. Сюда должны быть включены все те феномены, при которых какое-то действие, происходящее в настоящем, запечатлело себя в какой-то материальной форме, стало "следом" прошедшего. При таком подходе "следом" будет и черта на камне, и порез ножом на дереве, и отпечаток на глине, и какой-то остаточный процесс в мозговых клетках после уже происшедшей деятельности мозга. Не случайно, что для обозначения некоторых нервных процессов принят был термин "след" (как, например, "следовой рефлекс").

Все это, однако, не может отменить того факта, что здесь проявляются совершенно различные закономерности и специфические материальные процессы.

В самом деле, что может быть тождественного, скажем, в процессах ферромагнитной записи и в процессах молекулярных перестроек, являющихся основой памяти?

Замечания П.Косса о материальном субстрате памяти не могут быть поэтому обойдены молчанием. Он считает, что наиболее вероятной объективной возможностью для процессов памяти в нервной системе был бы процесс статической поляри-

зации в нервных элементах, подобно тому как это указано (см. стр. 86) для физического "запоминания" в счетных машинах.

В какой степени вероятно, чтобы именно поляризация стала одним из возможных субстратов памяти? Что такое статическая поляризация нервных элементов?

Это *исходное* электрическое состояние нервных элементов, поддерживаемое активными метаболическими процессами протоплазмы на поверхности оболочки (мембраны).

Всякий процесс *распространяющегося* возбуждения неизменно связан с *нарушением* этой исходной поляризации и переходом нервного элемента в состояние деполяризации.

Из сказанного следует, что процесс статической поляризации, ежесекундно нарушаемый волнами приходящих возбуждений, не может быть хранителем каких-то прошлых возбуждений. Данная нервная клетка, приняв активное участие в данной нервной деятельности и, следовательно, претерпев состояние деполяризации, *может после этого принять участие в других деятельностях*, то есть опять и много раз перейти из состояния поляризации в состояние деполяризации и обратно.

Таким образом, в свете современных представлений о природе возбуждения и отношения его к явлениям поляризации нервных элементов мы не можем принять гипотезу, что эти процессы могут быть выразителем памяти.

Запоминание как процесс нервной системы является гораздо более сложным феноменом, чем элементарный процесс деполяризации.

Прежде всего запоминание — это системный процесс. Запоминаться может только разветвленная система соотношений, соответствующая запоминаемому впечатлению, то есть системе возбуждений, связанной с ним. Значительность этого процесса состоит в том, что такие "следы" не теряют своего системного, то есть организованного, характера в течение даже десятков лет, несмотря на то, что те же самые нервные клетки принимали активное участие в тысячах других реакций и впечатлений человека!

На каком энергетическом фундаменте поддерживается монолитность этой запоминаемой системы возбуждений?

Эти вопросы открывают перед нами перспективы еще не начатых исследований. Последние работы Иошин и Гасто (1956 год) дают указание на то, что это запоминание не обходится без

активирующегося действия ретикулярной формации ствола мозга. Однако это всего лишь только самые начальные намеки на решение проблемы памяти.

* * *

Книга П.Косса написана живо, местами блестяще, хотя автор иногда и переходит на "домашнюю" дискуссию с Куфиньялем, корни которой читателю не известны.

П.Косса оставляет в стороне одну важную особенность всякого сопоставления кибернетики с какой-либо областью знания. При таком сопоставлении *непременно должны быть использованы самые последние и самые достоверные достижения данной научной области.*

Эту мысль очень хорошо выразил один из крупнейших советских физиков, работающих в области кибернетики, — проф. А.А.Ляпунов, писавший, что "более детальное моделирование процессов, протекающих в нервной системе, требует дальнейших специальных сведений о ее работе".

В конце книги, обсуждая невозможность создания "думающей машины", П.Косса говорит о "примате Разума". Особенно четко это выражено в послесловии. Между тем "примат Разума" не может быть независимым, не связанным причинными связями с теми внешними воздействиями, которые исторически создали этот разум.

Только в этом смысле, то есть представляя собой сгусток исторических превращений и усовершенствований и обогащенный индивидуальным опытом, разум социального человека стал способным, как мы видели, на такую деятельность, какую не могут выполнить машины, как бы они ни были сложны.

Идеалистическое представление о "примате Разума" ненаучно. Первична материя; дух, сознание вторичны.

Можно надеяться, что книга П.Косса будет прочитана российскими читателями с большим интересом. Он даст объективную оценку всем тем положениям и критическим высказываниям, которыми она богата.

ПРЕДИСЛОВИЕ[1]

к сборнику "Процессы регулирования в биологии"

За последние годы в иностранной прессе появилось довольно много работ по вопросу о приложении кибернетики к пониманию и изучению явлений биохимического и физиологического характера. Некоторые из них были переведены на русский язык (П.Косса, К.Шеннон и др.)[2].

Характерная черта этих работ состоит в том, что они направлены почти исключительно на объяснение и моделирование самых высших форм деятельности животного организма: работы его мозга вообще и условных рефлексов в частности.

Это и понятно. Именно при рассмотрении высших приспособлений организма к внешнему миру при помощи условно-рефлекторных связей наиболее выпукло выступают основные черты кибернетического мышления. Прежде всего здесь особенно важна теория информации и кодирование внешнего сигнала, который, начавшись, казалось бы, с простого ряда афферентных импульсов, в дальнейшем претерпевает сложную дисперсию по различным "каналам связи" центральной нервной системы вплоть до реализации ответа на эффекторных путях. Решающее значение имеет здесь также и обратная афферентация о результатах произведенного действия.

Только рассчитав в деталях эту информацию, можно понять любое совершенствование приспособительных актов или исправление ошибки в поведении животных и человека.

В Западной Германии термин "кибернетика" не принимается столь охотно, как в других странах. Здесь большей популярностью пользуется термин "биологическое регулирование". Правда,

---

[1] В кн.: Процессы регулирования в биологии. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960, с. 5—11.

[2] *Косса П.* Кибернетика. — М., Изд-во иностр. лит-ры, 1958; "Автоматы", сборник статей под редакцией К.Шеннона и Дж.Маккарти, 1956.

не так легко понять преимущества этого термина, хотя тенденция биологизировать и физиологизировать понятия кибернетики весьма нужна в данный момент.

В Западной Германии авторы исходят из представлений, что термин "биологическое регулирование" содержит в себе те основные закономерности, которые в последние годы декларировала кибернетика, но вместе с тем в нем отсутствуют все те сенсационные претензии кибернетики, которыми она так испортила свою репутацию в глазах серьезных ученых. Предисловие Хольста к данной книге хорошо выражает это различие точек зрения.

Настоящий симпозиум весьма характерен для этой тенденции. Он содержит работы весьма солидных физиологов, биохимиков и биологов других специальностей, которые, не покидая строго физиологических позиций, делают попытку разобрать некоторые случаи саморегулирующихся физиологических систем.

Эти работы отличаются от уже известных нам кибернетических параллелей именно тем, что в центре внимания все время находятся фундаментальные вегетативные приспособления типа терморегуляции, регуляции сахарного обмена, регуляции кровяного давления и т.д. Благодаря этим отличиям, данный симпозиум заполняет пробел в применениях кибернетики к общим физиологическим приспособлениям организма. Известно, что приложение кибернетического мышления к общим вегетативным функциям организма — совершенно необходимый переходный этап к пониманию патологических состояний организма в широком плане саморегуляции. В этом состоит значение данного симпозиума специально для медицинской теории.

Изучив законы поддержания констант нормального организма на постоянном уровне, мы тем самым поймем законы "срыва" этих регуляций в особенных, т.е. патологических, ситуациях, которые могут экстренно возникнуть в жизни организма.

Статьи симпозиума расположены в логическом порядке, и это весьма облегчает их чтение, поскольку каждая работа представляет собой нечто вроде отдельной главы целостной монографии.

В первых статьях рассмотрены общие законы саморегуляции в технических системах, и это помогает понять пути сопоставления этих законов в технических и физиологических системах. Затем дан разбор различных саморегулирующихся систем орга-

низма, например терморегуляции, кровяного давления, вегетативных процессов и т.д.

Следует отметить, что, по сути дела, все виды саморегуляции, отличаясь по качеству конечного приспособительного эффекта, действуют по одному и тому же архитектурному типу: само отклонение от константного уровня функции служит стимулом к восстановлению нарушенного состояния. В этом смысле весь процесс саморегуляции целиком укладывается в ту формулу саморегуляции, которая была высказана много лет назад И.П.Павловым. Он охарактеризовал организм как систему, которая "сама себя поддерживает, сама себя исправляет, сама себя совершенствует..." (И.Павлов, 1932). В этих словах особенно отчетливо охарактеризован циклический характер всех саморегулирующихся процессов и инициативный характер самого отклонения функции от нормальной константы.

Среди статей симпозиума особенное внимание обращает на себя статья о регуляторных приспособлениях нервной системы богомола к различным переменам внешних условий в связи с положением добычи. В этой статье отчетливо показан интегральный характер "входной информации", т.е. той суммы афферентных воздействий, которые, зарождаясь на различных рецепторных аппаратах, формируют в центральной нервной системе для каждого момента поведения целостный комплекс возбуждений. Эта работа с очевидностью показывает, что успех понимания физиологических механизмов любого поведенческого акта животных находится в прямой зависимости от понимания состава афферентных воздействий на организм, имеющих место в данный момент.

В статье Дришеля о вегетативных регуляциях впервые дана исчерпывающая характеристика саморегулирующихся процессов в плане кибернетики. Эта работа представляет особенный интерес в связи с изданной на русском языке книгой Эшби[1], который, как известно, первый сделал попытку сконструировать "гомеостат", т.е. техническую систему со свойствами живой вегетативной саморегулирующейся системы.

Обращает на себя внимание также статья о приспособительном поведении пчел в сообществе при выполнении ими различ-

---

[1] *Эшби У.* Введение в кибернетику, Изд-во иностр. лит-ры, 1959.

ных обязанностей в улье (Линдауэр). В этой статье впервые делается попытка понять отдельные эпизоды в поведении пчел, вызывающие подлинное удивление своей исключительной согласованностью, на основе учета той "информации", которую получает в сообществе каждая рабочая единица. Заслуга автора состоит в том, что он совершенно отчетливо вскрывает те исходные материальные причины, которые служат толчком для изменения поведения пчел в улье, и делает попытку понять эти изменения с точки зрения особенностей получаемой пчелами информации.

Правда, необходимо отметить, что Линдауэр недостаточно отчетливо формулирует роль обратной афферентации о результатах произведенного действия, и это мешает ему вскрыть более тонкие факторы взаимодействия пчел при выполнении ими различных видов работ в улье.

В приложение к сборнику нами включена, наряду с двумя другими работами, статья К.Коль, посвященная ионной электропроводности периферических нервов. В этой статье автор, давно уже известный в литературе своими исследованиями биофизических свойств гигантских нервных волокон, подробно разбирает вопрос о природе изменения продольного и поперечного импеданса нервных волокон и предлагает электрическую модель, иллюстрирующую механизм изменения физиологических параметров нервного волокна в процессе возбуждения.

Все статьи симпозиума, хотя они и посвящены самым различным вопросам — от анализа микропроцессов, протекающих в нервном волокне, до анализа поведения насекомых в сообществе, — проникнуты одной идеей — идеей регулирования биологических процессов на основе циклического взаимодействия. В этом смысле книга, несомненно, интересна и полезна, а в некоторых отношениях даже и уникальна. Закономерности саморегулирующихся технических систем сопоставляются в ней с такими процессами организма, которые под этим углом зрения никогда серьезно не разбирались.

Следует, однако, сделать ряд критических замечаний, которые, как мне кажется, должны показать перспективы дальнейшего развития всей проблемы "биологического регулирования".

Прежде всего авторы почти всех статей, за исключением Ранке и Гопферта, не анализируют глубоко наиболее критичес-

кий пункт регулирования — качество, состав и кодирование внешнего фактора в нервных импульсациях, возникающих на рецепторах и распространяющихся в определенной конфигурации по нервному волокну в направлении центральной нервной системы. Именно в этом пункте лежит источник всего разнообразия реакций организма и адекватности этих реакций исходному стимулу. Своеобразная афферентация, в которой закодированы все важнейшие качества раздражающего агента, при распространении по центральной нервной системе реализует код и формирует на эффекторном конце адекватную для данного момента реакцию. Поскольку же на рецепторные органы всегда действует какая-то многообразная стимуляция, постольку мы непременно должны иметь в виду, что в организме постоянно и непрерывно происходит синтез многочисленных афферентаций, и только на основе этого афферентного синтеза начинает формироваться поведенческий акт.

Здесь очень важно отметить организующую роль тех структур, которые поддерживают в организме константное течение какой-либо функции. Разбирая правила биологического регулирования различных функций организма, авторы оставили без анализа самый факт поддержания именно такой, а не другой константы. В самом деле, например, уровень сахара в крови колеблется около 0,1%, температура тела — около 36,7°, а осмотическое давление крови поддерживается еще более строго на уровне 7,6 *атм*.

Не поставив этого вопроса, авторы, естественно, и не могли вскрыть тех исключительно важных наследственных детерминант, которые устанавливают метаболизма определенных клеточных структур в определенных качественных и количественных границах. Именно это обстоятельство приводит к тому, что вся саморегулирующаяся система служит поддержанию некоторого определенного уровня, соответствующего в технических саморегулирующихся системах "заданному значению".

И, наконец, почти во всех рассмотренных в симпозиуме случаях саморегуляции не вскрыта и не подчеркнута роль обратной афферентации, хотя при изложении она и мыслится как составная часть биологического регулирования. Вскрытие роли обратной афферентации именно для вегетативных регуляций особенно важно, поскольку здесь она очень часто замаскирована

"отсутствием афферентации", наступающим в результате приспособительного рефлекторного акта.

Такой случай мы имеем, например, при снижении кровяного давления в результате учащения рецепторных импульсаций от барорецепторов дуги аорты и синокаротидной области. Но именно это снижение давления ведет к уменьшению импульсации от барорецепторов указанных областей, что и является "обратной афферентацией" о результатах рефлекторного акта.

В еще более отчетливом виде эта закономерность видна в известном эксперименте сбрасывания пропитанной кислотой бумажки обезглавленной лягушкой. Здесь серия рефлекторных двигательных актов заканчивается сбрасыванием бумажки, а афферентным последствием результата этого приспособительного акта является устранение импульсаций от рецепторов кожи, раздражавшихся ранее кислотой.

Конечно, вся проблема физиологической расшифровки саморегулирующихся функциональных систем организма еще далека от окончательного разрешения. Поэтому можно указать многие возможные пути дальнейшего анализа.

Однако совершенно очевидно, что постановка и разрешение этой проблемы в данном симпозиуме новы, объекты анализа выбраны оригинально, а результаты анализа представляют большой интерес для биолога, физиолога и медика.

Статьи симпозиума, несомненно, вызовут живое обсуждение затронутых проблем, послужат толчком для постановки новых исследований, а главное — дадут возможность советскому читателю пересмотреть, казалось бы, хорошо известные факты в новом аспекте.

Это и есть то положительное, что может дать сама концепция "биологического регулирования" и те работы, которые представлены в настоящем симпозиуме.

ФИЗИОЛОГИЯ И КИБЕРНЕТИКА[1]

Если принять наиболее распространенное мнение, что кибернетика в настоящее время является самым синтетическим и в то же время самым молодым научным направлением, переживающим еще стадию младенчества, то можно смело утверждать, что первой и заботливой нянькой младенца была физиология.

Известно, что Н.Винер, начинатель кибернетического направления, оформивший математические положения кибернетики, вскоре перешел к серьезному изучению физиологии. Он поехал в Мексиканский университет к своему хорошему другу, ученику Вальтера Кеннона, профессору А.Розенблюту. Здесь он изучал общие принципы деятельности организмов и машин и вместе с тем испытывал возможность применения математического анализа к явлениям физиологического порядка. Только после этого Винер приобрел смелость в аналогизировании работы организмов и машин, а его представления о живом организме приобрели научную достоверность.

Профессор Розенблют в личной беседе с автором этих строк сообщил, что Винер не ограничивался лишь теоретическим изучением физиологии, наоборот, он занялся непосредственно экспериментами. Это обеспечило ему свободу в выборе тех физиологических примеров, которыми так богаты его последние произведения.

Что же представляет собой кибернетика в ряду научных дисциплин в настоящий период ее развития?

Кибернетика является новой областью знаний, ставящей своей целью отыскание общих принципов функционирования машин, организмов и общества и на основе этих принципов разработку

---

[1] В кн.: Философские вопросы кибернетики. — М., 1961.

математических правил управления и регулирования рабочих систем, включающих в себя обратную связь.

В настоящее время еще нет общей формулы, которая охватывала бы достаточно полно все разветвления исследовательской работы, которые возникли на основе этого нового направления мысли. В то время как одни ученые фиксируют внимание на возможности управлять различными машинами и регулировать их работу с помощью обратной связи, другие, наоборот, сосредоточивают свое внимание на самом факте наличия информации в сложных рабочих системах. Так возникла теория информации, которая составляет по существу только один фрагмент самого принципа кибернетического подхода к изучению сложных явлений.

Имеются и такие ученые, которые ставят акцент на важности взаимного оплодотворения различных научных дисциплин, исторически получивших чрезмерную специализацию, и в этом нельзя не видеть очень существенного свойства кибернетического направления мысли. Исторически так сложилось, что развитие науки шло с исключительным подчеркиванием отдельных областей знания, отдельных процессов и часто весьма детализованных функций. Однако уже вскоре было замечено, что в такой исключительной специализации исследователь часто теряет общие горизонты всей проблемы в целом.

Кибернетика с самого момента своего зарождения пошла по пути преодоления этой специализации. Уже первые конгрессы по кибернетике проходили при участии самых различных специалистов: математиков, философов, физиологов, экономистов и т.д. Казалось бы, что может быть общего у специалистов столь различных профилей? Тем не менее это общее существует и установленный с тех пор контакт между различными специалистами не нарушается. Почти каждая страна имеет специальное общество, которое на своих конференциях обсуждает общие принципы, лежащие в основе многочисленных специализированных научных и технических направлений.

1. НЕКОТОРЫЕ ЧАСТНЫЕ ПРИНЦИПЫ КИБЕРНЕТИКИ

С самого начала развития кибернетики, как своеобразного интегрирующего направления науки, наметились те узловые во-

просы, которые дают наибольший практический эффект и наиболее легко поддаются математической обработке. Отсюда некоторая диспропорция между разрешением общих принципов кибернетического мышления и частных вопросов, составляющих лишь отдельные узловые пункты кибернетической системы. Именно поэтому общие принципы кибернетики оказываются в настоящее время менее разработанными и менее четкими в научном отношении, чем ее частные принципы, создавшие ей справедливую репутацию в высшей степени полезного не только теоретического, но и практического направления. Вместе с тем разработка частных вопросов оказалась столь интенсивной, что они очень часто относились к области самой кибернетики.

Так, например, весьма разрослась теория информации, теория программирования, теория автоматического регулирования, теория кодирования и т.д. Здесь с кибернетикой произошло нечто подобное тому, с чем вначале она сама вела такую упорную борьбу: некоторые ее частные области получили столь широкую разработку (теория информации и теория связи), что многие авторы уже не хотят знать никакой другой кибернетики, кроме этих отдельных направлений.

Теория информации является в высшей степени ответственным участком кибернетики, имеющим общие пункты соприкосновения между работой машин, общества и организмов. Под информацией понимается сумма воздействий на организм, машину или общество, которая дает нечто новое в деятельности этих систем и может быть использована для конструирования последующего поведения или последующих действий. Понятием информации нивелируется значение входящих сигналов, в какую бы систему они ни входили, лишь бы они являлись важными для работы этой системы. Так, например, вид хищника, как зрительное раздражение для мелкого животного, так же, как афиша, извещающая человека о новом кинофильме, и так же, как вспышка лампочки во входном фотоэлементном устройстве автоматически регулирующейся машины — все это является информацией, которая может быть выражена в физических показателях, причем последние могут быть точнейшим образом представлены в математических величинах. Совершенно очевидно, что судьба информации и тех преобразований, которые произойдут в ней на отдельных этапах продвижения по рабочим системам,

конечно, могут быть очень различны в зависимости от качества и специфики этих систем. Однако самый факт обобщения этих сигналов в понятие информации свидетельствует о значительном продвижении вперед.

Как полагают некоторые математики и кибернетики, сила кибернетического направления мысли состоит в том, что математический расчет физических параметров на более просто устроенной рабочей системе (машине) даст возможность в какой-то степени аналогизировать этот расчет и для более сложных рабочих систем (организма и общества), а дальше нахождение общих математических закономерностей поможет прогрессивно исследовать в живых организмах те процессы, которые до сих пор были недоступны для исследования.

Очень важным для кибернетики является тот факт, что информация непрерывно циркулирует во всех рабочих системах с автоматической регуляцией и, что особенно важно, циркулирует она как в прямом (на путях управления объектом), так и в обратном направлении (на путях информации о состоянии объекта). Так постепенно возникла специальная задача точного расчета параметров входящих сигналов, закономерностей, их преобразования на всех узлах системы и их отношения к конечному эффекту. Для организма теория информации имеет особенно важное значение. Так, например, точный расчет параметров зрительного или слухового раздражителя, который действует в данный момент на организм, значительно обогатился теми математическими разработками, которые дает теория информации. Если же взять факт дальнейшего преобразования этой информации, т.е. перевода фотоэнергии в нервную энергию возбуждения, то уточнение физических параметров раздражителя окажется чрезвычайно полезным.

В настоящее время проблема приложения теории информации к физиологическим процессам, в особенности в области физиологии органов чувств и анализаторов, в Советском Союзе разрабатывается профессором Г.В.Гершуни. Теория информации нашла в целом ряде случаев совершенно неожиданное применение. Поскольку всякое воздействие на организм неизбежно приводит к каким-то интрамолекулярным перестройкам или в специфических рецепторных элементах, или в клетках всего тела организма, то возникла мысль, что и клетки тела, кумулирующие

в себе все наследственные качества человека, получают "информацию". Эта идея в последние годы интенсивно разрабатывается в ряде стран, в том числе в Советском Союзе. Ученые стремятся выяснить, какое воздействие на зародышевые клетки может способствовать увеличению информации конденсированных в цепях белковых молекул ядра и протоплазмы и каким образом эта информация может быть донесена до онтогенетических этапов развития организма.

Как можно видеть, преобразование и передача информации в машинах, организмах и обществе является той общей основой, которая объединяет эти различные системы.

Понятно поэтому, что теория информации, разрабатывая возможность передачи именно информации, а не энергии, должна была столкнуться с целым рядом важнейших новых для науки проблем. К таким проблемам относятся физическая и техническая оценка решающих узлов передачи информации, расчет отдельных параметров этой информации, что особенно важно для биологических наук, кодирования многообразной информации в экономные комплексы и т.д.

Так постепенно сложилась целая наука, открывшая возможность анализа таких сторон в передаче информации, которые раньше были науке неизвестны. В настоящее время в физиологии широко используются отдельные положения теории информации и особенно разнообразные способы кодирования информации, благодаря которым в нервной системе организма достигается тончайшее и точнейшее отражение внешнего мира.

Неизбежно должен был возникнуть вопрос о проходимости тех каналов, по которым циркулирует информация. В самом деле, если человеческое ухо воспринимает вполне определенный диапазон частот, а в звуковом составе речи есть комбинация наиболее благоприятных для слуха модулированных колебаний этих частот, то неизбежно должен возникнуть вопрос о том пределе, до которого слуховой аппарат может допустить всевозможные нагрузки звуковыми колебаниями. Так постепенно от основного русла теории информации начинает вычленяться новая ветвь — "теория связи", одной из главных задач которой является расчет пропускной способности каналов связи. Для разработки этой теории как частного принципа кибернетики были созданы целые школы, она сыграла огромную роль в усовершенствовании

средств связи и в особенности в борьбе с шумами и с так называемой потерей информации.

Для физиологии нервной системы оба этих частных раздела кибернетики — теория информации и теория связи — играют большую роль. Они позволяют применить математический аппарат при анализе тех нервных импульсаций, которые возникают и передаются по нервным проводникам с различной скоростью. Так, например, можно рассчитать временные соотношения между нервными импульсами, поступающими в ганглионарный аппарат с различной частотой и по различным нервным волокнам. Скорость развертывания биохимических реакций, возбуждающих ганглий, и физические параметры входящих возбуждений при известных температурных коэффициентах могут в значительной степени определить предсказания конечного эффекта и судьбу входящих нервных возбуждений в центральной нервной системе. Именно эта сторона в последние годы привлекает особое внимание и Н.Винера.

Чтобы оценить значимость математического подхода к изучению физиологических явлений, разберем такой пример. Допустим в поле зрения кошки внезапно появилась летящая птичка, кошка делает быстрое движение и захватывает или не захватывает птичку. Что происходит в нервной системе кошки в этот момент? Мы с несомненностью можем утверждать, что оптические элементы глаза кошки получают информацию, выраженную в параметрах яркости, в параметрах формы и в динамических параметрах передвижения птички в пространстве. Конечно, это не единственные параметры той оптической информации, которую получает кошка, поскольку мы знаем, что она не будет протягивать лапу, если птичка летит поверх дерева. Это значит, что одним из составных параметров разбираемой информации является еще и параметр расстояния. Иначе говоря, на оптический аппарат кошки действует большое количество раздражителей, что и составляет входную информацию. Какова судьба этой информации в центральной нервной системе кошки?

Здесь сочетаются два важных фактора: видовая или филогенетическая информация, зафиксированная наследственно в соответствующих нервных связях мозга кошки, и та эпизодическая информация, которая поступила в данный момент через оптический аппарат кошки. Можем ли мы по этим двум существенным

компонентам рассчитать ту форму движения или ту форму поведения, которая наступит в ответ на это раздражение? Математически говоря, мы сможем рассчитать выход возбуждения, если нам будут известны системы связи анализаторных аппаратов мозга с моторными эффекторными, непосредственно управляющими движениями лапы. Но вот тут-то и лежит причина скепсиса некоторых физиологов и биологов по отношению к возможностям кибернетики и именно к ее тенденции выразить различные формы поведения математически.

В самом деле, если тот же самый оптический феномен разыграется перед глазом кролика, то можно наверняка сказать, что кролик не бросится ловить птичку, хотя и его моторный аппарат в какой-то степени достаточен, чтобы сделать это движение.

Таким образом, мы видим, как бы ни был точно рассчитан интеграл входной информации и как бы ни были точно рассчитаны коммуникационные особенности оптической системы, мы сталкиваемся с биологической спецификой дальнейшего преобразования этой информации и, следовательно, волей-неволей должны выразить ее в терминах структуры и наследственности. Конечно, это ни в какой мере не исключает возможности того, что дальнейший анализ мог бы быть произведен с помощью математических расчетов, однако кибернетик на этих путях будет встречать все больше и больше препятствий, зависящих от специфики той наследственной информации, которая заложена в клетках, синапсах и белковых структурах соответствующих нервных элементов.

Все что говорилось выше, касается всего лишь рефлекторного действия, если же прибавить к этому как совершенно обязательное следствие информацию о результатах действия, то задача, конечно, значительно усложняется. Однако об этом более подробно будет сказано ниже.

Значительную роль в развитии кибернетики как самостоятельного научного направления сыграло представление о так называемых обратных связях (feed back). Некоторые математики, физики и даже физиологи считают, что именно констатация обратных связей, или обратной информации, способствовала развитию теории автоматического регулирования, которая по существу составляет новую эру в теории управления и регулирования.

В этом есть доля истины, ибо до тех пор, пока в поле зрения математиков и инженеров не попала обратная связь, трудно было надеяться на развитие теории автоматического регулирования.

Смысл обратной связи в машинных устройствах состоит в том, что тот регулируемый объект, для которого сконструирована вся рабочая система, способен по каналам обратной связи информировать регулирующее устройство о своем состоянии. Этим самым круг регулирования замыкается, и вмешательство человека на данной стадии работы машины делается ненужным. Здесь важно, чтобы само регулирующее устройство могло переработать полученную обратную информацию о состоянии регулируемого объекта и направить новое регулирующее влияние в соответствии с возникшими изменениями регулируемого объекта.

Современная техника автоматического регулирования имеет тысячу примеров такой обратной связи, а современные достижения электронной техники, охватывающей и преобразующей все виды энергии, позволяют сконструировать любые информирующие устройства и схемы связей. Так, например, потребность какого-нибудь города в электроэнергии, получаемой от горной электростанции, может внезапно возрасти, например в связи с какими-нибудь праздничными иллюминациями. Это сказывается на электронных реле горной электростанции, которые автоматически, в зависимости от этой нагрузки, увеличивают сток воды по запасным каналам и тем самым соответственно увеличивают выработку электрической энергии. Весь процесс автоматического регулирования работы горной электростанции в связи с потребностями в энергии большого города может происходить, как видно, без участия человека, лишь на основе непрерывной обратной информации от регулируемого объекта (от потребности города в энергии).

Можно оставить в стороне целый ряд специфических принципов кибернетики, как, например, программирование и кодирование, которые в настоящее время широко используются в работе счетно-вычислительных машин. Можно лишь отметить, что работа рецепторов различных органов в зависимости от последовательности залпа импульсов оказывается весьма сложно закодированной. На различных инстанциях центральной нервной системы этот "код" оказывается расшифрованным, а одна исходная информация становится многообразной и распределяется

по различным "каналам связи" центральной нервной системы. С точки зрения медицинской и физиологической, здесь важно остановиться на той отрасли науки, которая обычно тесно связывается с появлением кибернетики, именно с теорией моделирования. Под этим термином понимается теория, рассматривающая возможность механического и электронного моделирования некоторых процессов в живых организмах. Широко известны работы Грея Уолтера по созданию моделей электронных черепах, которые сами обходят препятствия, вырабатывают условные рефлексы и даже изменяют свое "настроение". Пытаются моделировать лис, мышей и т.д. Часто можно слышать, что это моделирование есть начало того прогресса электроники, который в конечном итоге приведет к моделированию людей.

Особенно интересными и поучительными являются те электронные модели, которые конструирует английский ученый Эшби. Он поставил в центр своего внимания физиологический процесс, который Кеннон назвал гомеостазисом. Свои электронные "существа" Эшби назвал "гомеостатами". Благодаря особенным устройствам гомеостат может не только поддерживать какую-либо заданную константу, как, например, температуру, но может сопротивляться тем факторам, которые снижают эту температуру. Как считает Эшби, гомеостат может даже "накапливать" опыт. Именно накопление опыта, которое является специфическим свойством живого организма, и становится с некоторых пор предметом исследования кибернетиков. Иначе говоря, они подошли вплотную к моделированию условного рефлекса в различных электронных устройствах.

Теория моделирования, конечно, имеет определенные успехи, однако очень часто сами авторы этих моделей не дают себе отчета в том, *что* именно из многообразных явлений жизни и поведения животных они моделируют. Только тщательный анализ того, что воспроизведено данной моделью из многообразных параметров организма, может помочь развить моделирование дальше и указать кибернетике пределы моделирования биологических явлений.

В самом деле, движение металлического объекта вообще не является удивительным. Мы давно знаем, что движется и пушечное ядро, и паровоз, и, следовательно, вопрос в том, как смоделировать движение, которое было бы по внешним призна-

кам похоже на движение животного. Одним из таких движений у электронных черепах Уолтера является движение, благодаря которому черепаха, "почуяв" потерю заряда, идет к определенному месту "заряжаться" электрической энергией.

Можно сказать, что черепаха уподобляется в данном случае человеку, который, почувствовав голод, идет, скажем, в столовую, но это опять-таки чисто внешнее сходство. Такое поведение человека отнюдь не жестко ограничено, оно обусловлено социально и отнюдь не составляет решающей стороны его приспособлений как целого организма. Таким образом, при оценке поведения модели мы должны иметь перед собой всегда в качестве критерия состав моделируемого явления и только при этом условии решать вопрос, какие черты данного явления моделируются.

Как видно, имеется много точек соприкосновения у кибернетики и именно у технической кибернетики с физиологией и биологией. Вместе с тем необходимо строго соблюдать точнейший расчет всех тех процессов, которые могут быть выражены в технических моделях.

Характерной чертой всех частных принципов кибернетики является их тенденция разрастаться и приобретать как бы самостоятельное значение вне связи с общими положениями кибернетики. Между тем для связи кибернетики с медициной и особенно с физиологией важным является именно общая методологическая сторона кибернетического направления, ибо только на этой основе могут быть вскрыты те общие принципы, которые присущи материи на любой ступени ее развития (машина, организм, общество). Дальше мы и перейдем к рассмотрению этих общих принципов кибернетики.

2. ОБЩИЕ ПРИНЦИПЫ КИБЕРНЕТИКИ И ИХ РАЗВИТИЕ

По общему признанию, заслуга кибернетики заключается в том, что она установила внутреннюю логическую связь между такими областями знаний, которые много лет развивались независимо друг от друга и мыслились как самостоятельные разделы науки. Таким образом, кибернетика способствовала тому, что принято называть "перекрестным оплодотворением".

Первой и наиболее важной предпосылкой развития кибернетики Н.Винер считает все большее и большее развитие представлений о физических явлениях, как о явлениях, развивающихся с известной степенью вероятности. Как он выражается, "...теперь физика больше не претендует иметь дело с тем, что произойдет всегда, а только с тем, что произойдет с преобладающей степенью вероятности"[1].

Революцию в физических воззрениях, по мнению Винера, произвели американский физик и математик Гиббс и французские математики Ворель и Лебег. Тот факт, что вероятность физического явления может быть выражена в математических и статистических формулах, открыл широкие возможности для расчета и предсказаний в работе самых сложных механизмов.

Прямым следствием этих представлений о "вероятности Вселенной" является весьма острый вопрос "о степени, до которой ответы относительно одного ряда миров будут вероятны по отношению к другому, более широкому ряду миров"[2]. В такой постановке вопроса угадывается перспектива будущих аналогий и поисков того общего, что связывает между собой весьма различные по качеству области явлений.

Значение вероятностных предсказаний для различных систем неизбежно должно было связать математику Гиббса и кибернетические представления Винера с проблемой энтропии, т.е. проблемой рассеивания энергии.

В самом деле, если какая-либо замкнутая система тел располагает запасами тепловой энергии и если имеется большой градиент энергетического уровня у ряда тел, то тела с большим запасом тепловой энергии неизбежно должны будут передавать ее другим телам, обладающим меньшим запасом энергии, и таким образом постепенно приближаться к тепловой смерти.

С точки зрения второго закона термодинамики, здесь все происходит закономерно и понятно, но возникает естественный вопрос: как быть с живым организмом, который не только отдает тепло, но и непрерывно продуцирует тепло внутри себя в результате различного рода химических реакций? Совершенно оче-

---

1 *Винер Н.* Кибернетика и общество. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958, с. 26.

2 Там же, с. 27.

видно, что организм представляет собой, выражаясь физическим языком, антиэнтропическую систему, т.е. систему, сопротивляющуюся рассеиванию тепловой энергии. В этом кибернетики усматривают общее между организмом и машиной. И тот и другая, являясь узлами вселенной с большим запасом энергии, сопротивляются как организованные системы энтропическому уничтожению. Кроме того, в обеих системах на основе внутренних механизмов, получающих энергию извне, происходит поддержание энергетического градиента между системой и окружающим ее миром.

На основании этого и зарождаются те аналогии и перспективы, которыми так богата современная кибернетика. В самом деле, если две системы имеют тенденцию "к уменьшению энтропии", то, очевидно, в частных узлах этих систем мы также можем отыскать некоторые общие черты. Так постепенно отшлифовывается точка зрения кибернетики, которая вызвала в зарубежной литературе довольно бурную и вполне понятную реакцию некоторых исследователей. Эту тенденцию в общих чертах можно сформулировать в следующих словах: *если в мире имеются две системы, у которых одинаковы общие принципы функционирования, то это значит, что и в частных узлах и коммуникациях этих систем можно обнаружить такое же подобие.* Конкретно это значит, что если бы удалось построить электронную модель, которая могла бы накапливать опыт по принципу условно-рефлекторного замыкания, и если бы она могла использовать этот опыт в экстренных и всегда различных условиях, то математические расчеты в узлах электронной модели должны были бы нам подсказать подобные же математические закономерности и в узловых межнейрональных связях мозга.

Несомненно, это положение в какой-то мере и может быть проиллюстрировано, однако едва ли сейчас можно принять его как универсальный закон. Именно в сопоставлении организма и машины особенно сказывается качественное различие между композицией, архитектурой целой функции и теми конкретными материальными средствами, с помощью которых осуществляется эта композиция функций.

В самом деле, допустим, что мы имеем какое-либо готическое сооружение из кирпичей. Аналитически говоря, в основе этой

готической архитектуры лежит кирпич, цемент, железные крепления и т.д. Таким образом, единицы этой архитектуры, кирпичи, связаны цементом. Мыслимо также архитектурное сооружение в том же готическом стиле, но из дерева. Тогда в частных узлах этой архитектуры мы будем иметь и качественно, и принципиально другие связывающие средства, между тем как общая архитектура их может быть совершенно идентичной. Уже в этом примере, взятом из мира мертвых материальных систем, мы видим, как неправильно отождествление от общего к частному. Что же касается организма и машин, то такое качественное и принципиальное различие идет здесь еще дальше и глубже, хотя, как мы увидим ниже, некоторые общие принципы функционирования могут быть одинаковыми.

Пожалуй, наиболее важным принципом, объединяющим неживые и живые системы функционирования, является принцип обратных связей. Именно этот общий принцип кибернетики — необходимость обратной информации о полученном аффекте, характерен для функционирования всех видов машинных устройств (до автоматически регулирующихся машин), а также для поведения живых организмов. Как выражается Винер, "для эффективного поведения необходимо получать информацию посредством какого-нибудь процесса обратной связи, сообщающего о достижении цели"[1].

Как будет показано ниже, необходимость обратной информации о том эффекте, который получил организм в результате какого-либо своего действия, является абсолютно необходимым условием любого прогресса. Между тем кибернетики, физики и математики полагают, что закон обратной связи был вскрыт и сформулирован прежде всего на примере машин с автоматической регуляцией. Физиология давно уже знала эти эффекты и много раз вплотную подходила к формулировке обратных связей, назвав их, однако, в соответствии с характером самого процесса "обратной афферентацией" или "санкционирующей афферентацией"[2]. Общие указания на необходимость, например, притока

---

[1] *Винер Н.* Кибернетика и общество, с. 69.

[2] *Анохин П.К.* Проблема центра и периферии в современной физиологии нервной деятельности, "Проблема центра и периферии. Сборник". — Горький, 1935, с. 52—66.

чувствительных импульсаций от мышцы для моторной деятельности имелись и ранее (Ч.Белл, И.М.Сеченов, Байер и др.).

Поскольку именно этот момент является решающим в сопоставлении машин и организмов, он требует более детального анализа. Для машин, организмов и общественных явлений характерна законченность цикла: любое управляющее воздействие на какой-либо объект заканчивается эффектом, который различными путями оказывает обратное воздействие на регулирующий орган. Все машины с автоматической регуляцией работают на основе этой связи. Организмы поддерживают постоянство своих жизненных проявлений также только потому, что любое отклонение от константного уровня какой-либо функции немедленно сигнализируется в центральную нервную систему и далее по центробежным путям происшедшее отклонение функций выправляется. Подобные явления можно наблюдать и в общественной жизни. Так, например, для того, чтобы указания центральных органов выполнялись достаточно точно, между управляющим органом и получающей приказ периферией должны существовать непрерывные двусторонние связи, т.е. в зависимости от того, как будет выполняться полученное приказание в исполнительных органах, в центр будет поступать та или иная обратная информация. И только при этом условии возможна тонкая подгонка и корректировка приказа с особенностями местных условий, где должен реализоваться этот приказ.

Итак, кибернетика, исходя из законов энтропии, вероятности явлений и их постоянной циркуляции, объединила казалось бы весьма разнообразные и необъединяемые области явлений — машину, организм, общество.

В связи с этим, естественно, возникает принципиальный вопрос, *почему так сложился мир физических, живых и общественных систем, что какие-то весьма общие формы функционирования оказываются для них в одинаковой степени обязательными*? Какая общая основа лежала в историческом развитии этих различных систем и как могла эта общая основа довести такой единый принцип, как принцип обратной связи, до самых высших форм развития материи — общественной жизни?

Интересно отметить, что этот, казалось бы, вполне естественный философский вопрос не поставлен был ни Винером, ни

его последователями. Они ограничились лишь констатацией наличия этой закономерности и подбором различных иллюстраций. Между тем едва ли можно сомневаться в том, что, не вскрыв исторических истоков этой общей закономерности, мы не сможем понять основные кибернетические закономерности.

И здесь мы должны поставить прежде всего такой вопрос: чем вызвано в процессе эволюции животных появление обратных афферентаций, которые положительно у всех живых существ дают информацию о степени успешности или полезности произведенного действия для данного организма в широком биологическом смысле? Простой разбор любого рефлекторного акта убеждает нас в том, что обратная афферентация неизбежно должна была появиться и причиной для этого является обязательное биологическое соответствие любой реакции животного, любого приспособительного акта задачам сохранения жизни. Живая система существует как целое до тех пор, пока ее жизненно важные константы строго поддерживаются на определенном уровне.

Здесь следует более подробно оговорить значение приспособлений животного, сохраняющих ему жизнь. До тех пор, пока не появилась жизнь на земле и существовал лишь неорганический мир, естественно, вопрос о полезности не мог возникнуть, ибо не было жизненного критерия этой полезности. Но как только возникла первичная жизнь, такой критерий появился — он заключался в сохранении жизни. Следовательно, все, что сохраняло жизнь, с широкой биологической точки зрения, было полезно организму, вызывало его положительную реакцию и, наоборот, все, что разрушало жизнь, стало вредным, т.е. стимулом к устранению этих факторов — к отрицательной реакции[1]. И здесь, в изучении природы и эволюции, ученые встали перед чрезвычайно интересным критическим пунктом развития, который можно представить себе в духе той теории вероятности, которую мы обрисовали выше. Мир неорганических явлений чрезвычайно разнообразен, и для того, чтобы какое-либо действие организма закончилось положительным приспособительным эффектом, не-

---

[1] См. *Павлов И.П.* Физиологический механизм так называемых произвольных движений, Полное собрание сочинений, т. III, книга вторая, АН СССР. М. — Л., 1951.

обходимо было бы, чтобы действие развивалось на математических точных основаниях и с математической точностью по отношению к внешнему объекту этого действия. Однако, как мы увидели при разборе случая с кошкой и птичкой, такая точность при наличии постоянной тенденции к рассеиванию эффекта практически невозможна. С этой точки зрения, едва ли можно согласиться с Винером, что наследственные факторы могут исключить такую рассеянность рефлекторного эффекта и насекомое, например, может поступать совершенно точно на основании тех "предписаний", которые являются результатом его наследственного формирования. Даже врожденные реакции, структура для которых подготовлена уже процессами эмбриогенеза, не могут осуществляться с математической точностью и в зависимости от чрезвычайного разнообразия внешних условий имеют какую-то степень "разброса", меняющую и степень полезности для животного конечного приспособительного эффекта.

Практически мы имеем в точном согласии с представлением о вероятностном характере физического явления еще более вероятностный эффект приспособления живого организма. Иначе говоря, в ответ на какой-либо внешний агент животный организм может дать в зависимости от самых разнообразных факторов до молекулярных особенностей включительно энное число вариаций ответа. Совершенно очевидно, что если бы эволюция не выработала приспособления, по которому из энного числа вариантов ответных реакций животное выбирало бы наиболее адекватное для его жизни при данных условиях, то никакой эволюционный прогресс не был бы возможен. Кажется странным, что рефлекторный акт или, как его называют, "рефлекторная дуга", существует в течение более чем 300 лет именно при таком допущении. Априори мыслится, что рефлекторный акт должен быть всегда успешным и не должен иметь никаких отклоняющихся вариантов. Стоит, однако, представить себе на минуту, что рефлекторный акт оказался в какой-то степени недостаточным, чтобы понять, что только на этой основе прогресса живых организмов быть не может.

К счастью, очевидно, уже на самых низших ступенях развития у организмов появилась способность получать обратную афферентацию о степени полезности конечного приспособительного эффекта. Если он недостаточен или вообще отсутствует, то животное, получив об этом информацию, немедленно изменяет

форму поведения и в конце концов добивается необходимого приспособительного эффекта.

Таким образом, обратная афферентация в самых примитивных ее формах была необходима животным организмам для сохранения жизни. Вся дальнейшая эволюция живых существ до появления человека подчинялась этому универсальному закону обратной афферентации результатом действия.

Здесь мы стоим перед критическим пунктом эволюции, когда наш обезьяноподобный предок, создав первые примитивные орудия труда, перешел тот Рубикон, с которого начался процесс превращения обезьяны в человека и образования первых общественных форм. Спрашивается: изменил ли свое действие в этих новых условиях универсальный закон обратного афферентирования результатов действия? На этот вопрос мы можем ответить определенно: не только не изменилось действие этого закона, но его значение во много раз выросло в соответствии с новыми разнообразными действиями первобытного человека.

В самом деле, представим себе на минуту, что первобытный человек стал применять с большим успехом примитивные орудия — дубину, каменный топор или что-либо подобное. Как и в случае его борьбы с дикими зверями на более ранней стадии, теперь каждая встреча его заканчивалась или победой, или гибелью, и примитивный человек, употребив впервые орудие, не мог по конечному приспособительному эффекту, который воздействовал на все его органы чувств, не заметить, что этот полезный результат достигается с большей легкостью. Здесь мы имеем огромный спектр обратных афферентаций, которые закрепляли употребление примитивного орудия и привели к его дальнейшему усовершенствованию. Но надо помнить, что каждому этапу усовершенствования орудий борьбы и охоты соответствовала своя обратная афферентация, закреплявшая случайно полученный эффект.

Если мы возьмем более поздний этап общественного развития, хотя бы время, когда человек пользовался примитивными земледельческими орудиями, то по сути дела та же закономерность циклического характера, требующая обратных афферентаций от результатов действия (вспашка земли, скорость этой вспашки), должна служить непрерывной регуляции все более совершенного конечного эффекта, а вместе с тем и совершенствованию самого орудия вспашки.

В сущности прогресс машинных устройств направлялся и закреплялся в результате непрерывной оценки людьми конечного полезного эффекта этих устройств. Такая полезность могла выражаться в лучшем качестве конечного продукта, производимого машинами, в количестве этого продукта или в скорости его получения и т.д. Но на всех этапах усовершенствования машин человек неизменно стоял в центре этой циклической системы и являлся тем "оценивающим устройством", которое в настоящее время может быть представлено в определенных условиях электронным устройством.

Таким образом, обратная афферентация сопутствует общественному прогрессу, поскольку ни один шаг человека, ни одно его действие не могут иметь места без немедленной обратной афферентации о результатах этого действия. Особенность дальнейшего совершенствования машин и создание автоматических устройств состоит в том, что при сохранении общего принципа функционирования циклических систем труд человека заменяется работой электронных аппаратов. Эти аппараты точнейшим образом оценивают все стороны конечного полезного эффекта и в соответствии с получаемой информацией включают такие регуляторные воздействия, идущие опять-таки к регулируемому объекту, которые приспосабливают конечный эффект работы машины к заданному эталону.

Следует, однако, отметить, что несмотря на то, что автоматически регулирующаяся машина сама "оценивает" свои результаты, конечная оценка их при использовании производимого ею продукта производится человеком. А это значит, что хотя машина и имеет автоматическую регуляцию при изготовлении какого-то продукта, ее циклическая деятельность является лишь малой частью более обширных циклических приспособлений.

Нельзя не видеть, что замена труда человека работой сложных машин, производящих самые разнообразные продукты, знаменует революцию в общественной жизни и открывает широкие перспективы для плодотворного использования освобожденной энергии человека, для его совершенствования. Вместе с тем нельзя не видеть, что для установления общих принципов кибернетики и физиологии обратная афферентация играет огромную роль.

Обратная афферентация является одним из самых кардинальных законов жизни, который определяет собой все формы обу-

чения и полезных приспособлений человека вплоть до конструирования сложных машин с автоматической регуляцией. Этот закон можно сформулировать следующим образом: *всякая функциональная система, механическая или живая, созданная или развивавшаяся на путях получения приспособительного эффекта, непременно имеет замкнутый характер и не может существовать, если не получает обратной афферентации о степени полезности произведенного ею эффекта.*

Таким образом, с точки зрения физиологической, в прогрессивной эволюции организмов огромную роль приобретают непрерывные афферентные воздействия на организм. Их разбору и будет посвящен следующий раздел.

3. АФФЕРЕНТНЫЕ ФУНКЦИИ ОРГАНИЗМА И КИБЕРНЕТИКА

Тот факт, что теория информации оказалась наиболее развитой частью кибернетического направления, не является случайным. Самым существенным фактором в организации любой целостной системы, к какой бы категории эта система ни относилась (машины, организмы, общество), является циркуляция в ней информации. Только благодаря непрерывному обмену информацией между отдельными частями системы может осуществиться их организованное взаимодействие, заканчивающееся полезным эффектом. Это в равной мере применимо как к машинам, так и к организмам. Изучение различных видов циркуляции нервных импульсов в организме является основной предпосылкой для понимания его целостности. И здесь на первое место надо поставить значение для организма афферентных функций, под которыми мы подразумеваем возникновение чувствительных импульсов в различных рецепторах тела и распространение их в сторону центральной нервной системы. Иначе говоря, афферентная функция — это функция информации о раздражении рецепторов организма внешними или внутренними агентами, а следовательно, и информации об энергетических превращениях в окружающем мире.

Известно, какое огромное значение придавал Иван Петрович Павлов афферентному отделу нервной системы. Он считал его центральным при формировании какой-либо деятельности, между

тем как эфферентный отдел нервной системы, т.е. отдел, по которому выносится импульсация к рабочим органам, он считал лишь техническим, исполнительным. Такое мнение И.П.Павлова не является случайным, оно сформулировано им на основе длительного и многостороннего экспериментального опыта в различных областях физиологии.

И в самом деле, с помощью рецепторных органов организм непрерывно получает информацию о малейших изменениях во внешней и внутренней среде. Можно без преувеличения сказать, что в каждый данный момент организм животного и в особенности организм человека получает сложный интеграл из этих многочисленных и различных по качеству афферентных воздействий, которые в конечном итоге определяют то, что мы называем "состоянием организма" или, как выражаются гигиенисты, "состоянием комфорта". Это значит, что все афферентации, представленные миллионами нервных импульсов, при окончательном их синтезе в центральной нервной системе формируют оптимальное взаимодействие наиболее решающих центров вегетативной и соматической жизнедеятельности.

Однако стоит лишь где-либо в организме возникнуть афферентным импульсам от разрушенного участка тканей или органов, как сейчас же эта стройная центральная интеграция начинает "хромать" и конечный эффект поведения целого организма изменяется. Именно этим объясняется тот интересный факт, на который не раз указывал И.П.Павлов, а именно, что от каждого органа, от каждой ткани и от каждой клетки организма может поступить афферентная сигнализация в центральную нервную систему и даже до коры мозга включительно.

Из сказанного ясно, сколь обширна афферентная система организма, поскольку принципиально она должна охватывать собой информацию организма о всех видах энергии, с которыми он соприкасается во внешнем мире (свет, тепло, химические воздействия, механические воздействия и т.д.).

Это значение афферентной функции хорошо выражено уже в анатомических показателях. Так, например, сравнительная оценка количества нервных волокон во всех передних корешках спинного мозга и во всех задних корешках показывает, что количество афферентных волокон примерно в 5—6 раз больше, чем эфферентных, что выражается коэффициентом 1:5,5.

Эволюция выработала целый ряд приспособлений, которые позволяют организму воспринимать действие на него различных внешних влияний. Часто поражают тонкость соотношения и способы, с помощью которых в процессе эволюции у организма выработалась способность к восприятию различных воздействий на организм.

Так, например, если рассмотреть информацию центральной нервной системы о самых тонких и незначительных прикосновениях к поверхности кожи, то мы увидим сложный механизм, который обеспечивает эту информацию. Хогланд показал, что в эпителиальной части фатерпачиниевого тельца непрерывно продуцируется калий, который находится в межэпителиальных пространствах до тех пор, пока на эти тельца не оказано какое-либо давление. Но как только это давление в виде тонкого прикосновения к коже произведено, калий немедленно выходит из межэпителиальных пространств и воздействует деполяризующим образом на обнаженное нервное окончание, находящееся в центре этого тельца. Как известно, калий является весьма сильным деполяризатором, т.е. веществом, способствующим возникновению возбуждения, и поэтому вслед за его действием на обнаженные нервные окончания в центральную нервную систему направляются потоки афферентных импульсаций, информирующих организм о прикосновении. В зависимости от силы давления количество вышедшего из межэпителиальных пространств калия может быть различным, отсюда различна и степень внезапности поляризации и ее обширность; это, естественно, ведет к возникновению различного количества нервных импульсаций, направляющихся в центральную нервную систему. Так осуществляется информация о силе прикосновения к отдельным участкам поверхности тела[1]. Еще более обширной является система, скажем, восприятия светового луча и преобразования его в энергию нервного импульса.

Нам сейчас важно понять положение, что внешний мир непрерывно воздействует на организм в зависимости от его поведения и изменяющихся отношений к различным факторам и

---

[1] См. *Hoagland H.* Anbimechanism of Adaption (Pereferal Cansori Inipition) of Mechanoreceptors, "Gold Spring Harbor Symposia on quantative Biology". N.Y., 1936, p. 347—357.

явлениям. Все это ставит перед нами важную задачу классификации афферентных воздействий на центральную нервную систему, возникающих в разные моменты деятельности организма. Причем речь идет не о классификации по качеству самой рецепции, а по ее месту в процессе образования функциональных систем организма, т.е. по ее месту в циклической архитектуре приспособительных актов организма.

Такая классификация должна упорядочить наши оценки разнообразных воздействий на организм и дать возможность оценить место каждой афферентации в циклических системах, обеспечивающих постоянство функционирования. Мы можем в настоящее время выделить следующие формы афферентных воздействий, которые систематизированы не по качеству воздействующей энергии, а по их значению для формирования целостных поведенческих актов организма.

1. Обстановочная афферентация.
2. Установочная афферентация.
3. Пусковая афферентация.
4. Обратная афферентация:
   а) направляющая движение;
   б) результативная, включающая в себя поэтапную и санкционирующую афферентации.

Ниже мы и остановимся на физиологической оценке каждого из этих видов.

Обстановочная афферентация. Под ней в физиологии подразумевается совокупность всех тех внешних факторов и идущих от них воздействий, которые для животного или человека являются при данных условиях относительно постоянными и всегда составляют в высшей степени сложный комплекс различных воздействий.

Так, например, сидя в зале консерватории, мы получаем целый ряд специальных воздействий на наши органы чувств, как от вида публики, эстрады, так и от целого ряда звуковых раздражений. Характерной чертой обстановочной афферентации является то, что она, обладая относительным постоянством и длительностью действия, образует в центральной нервной системе весьма разветвленное афферентное взаимодействие, которое подготавливает и специфическую форму той реакции, которая может иметь место только в данной обстановке. Вот это соот-

ветствие между обстановочной афферентацией, ее подготовкой и формой реакции, которая только и может быть в данной обстановке, составляет ее характерную сторону. Именно ее органическая связь со следующей формой афферентации, с пусковой афферентацией, и составляет одну из особенностей афферентных влияний на организм, организующих его адекватное поведение.

Допустим, человек, находясь дома, почувствовал жажду. В большинстве случаев он утоляет эту жажду имеющимися в его распоряжении средствами. Допустим, теперь, что тот же самый человек почувствовал жажду во время исполнения какого-то концертного произведения. Исходный стимул по своей физиологической природе один и тот же, однако в данной обстановке он не вызовет такого же действия, как в домашней обстановке. Следовательно, своеобразие афферентных воздействий от обстановки зала консерватории полностью исключает возможность немедленного утоления жажды именно в данный момент.

Возьмем другой пример. Человек пришел в поликлинику и врач задает ему обычный вопрос: на что жалуетесь?

Сам по себе такой вопрос, взятый безотносительно обстановки, в которой он задается, может вызвать целый ряд ответов. Так, например, можно ответить: я жалуюсь на недостаток времени, я жалуюсь на сварливых соседей и т.д. Однако исходные побудительные мотивы посещения поликлиники (болезнь), вид поликлиники, вид врачей и всей обстановки поликлинической жизни в целом создают заранее такую нервную интеграцию, для которой вопрос — на что вы жалуетесь, не может иметь двух значений. Поэтому естественно, что в нормальных случаях пришедший в поликлинику больной рассказывает врачу о своей болезни. Но в условиях психопатологии возможны и те неадекватные ответы, которые были приведены выше.

Наиболее отчетливо соотношение обстановочной афферентации с последующей пусковой афферентацией можно видеть при экспериментировании с условными рефлексами. Допустим, что в течение ряда лет в одной и той же камере с собакой проводились эксперименты по пищевым условным рефлексам, т.е. в определенной обстановке она всегда получала пищевое безусловное подкрепление. Тогда каждый признак, относящийся к данной обстановке данной камеры, будет иметь отношение к пищевой

деятельности животного. Следовательно, вся обстановка в целом — станок, стены, освещение, дверь и т.д. — приобретает пищевое значение на основе принципа условных рефлексов. Однако, несмотря на "пищевое" действие обстановки, животное обычно не выделяет слюны в интервалах между условными раздражителями; слюна появляется у большинства животных только в момент дачи конкретного условного раздражителя.

Наоборот, если животное поместить в совершенно другую обстановку, например в аудиторию, полную слушателей, и дать тот же самый условный раздражитель, скажем звонок, который несколько лет подкреплялся едой, то мы можем не получить в ответ условной секреции. Известно, как много огорчений доставляло И.П.Павлову это обстоятельство, когда он желал продемонстрировать условные рефлексы в аудитории Общества русских врачей.

Совершенно очевидно, что в данном случае мы наблюдаем взаимодействие между обстановочной и пусковой афферентацией и только при определенном их синтезе может иметь место адекватный условный рефлекс. Особенность действия обстановочной афферентации, заключающейся в подготовке соответствующей деятельности, но не выявляющей этой деятельности, и заставляет выделить эту форму афферентации, поскольку она создает предпусковую интеграцию нервных процессов.

Пусковая афферентация. Из сказанного выше следует, что под пусковой афферентацией понимается толчок, т.е. стимул, который, вскрывая имеющуюся в центральной нервной системе структуру возбуждения, приводит к проявлению вовне какой-либо деятельности организма. В сущности на протяжении довольно длительного времени при оценке рефлекторной теории имелась в виду именно эта форма афферентации, поскольку огромная роль обстановочных афферентаций всегда в какой-то степени замаскирована и не является столь очевидной.

В отдельных видах экспериментов мы можем расчленить значение пусковой и обстановочной афферентаций, и тогда очевидно, что это две различные формы афферентных воздействий на организм.

Классическим примером такой диссоциации является опыт с динамическим стереотипом, проделанный в лаборатории И.П.Павлова. Как известно, здесь условный раздражитель не дает свой-

ственного ему условного ответа, а дает тот ответ, который характерен для другого раздражителя, употреблявшегося на данном месте стереотипа. Так, например, свет может вызвать эффект звонка, а звонок — эффект, свойственный свету. В этом эксперименте совершенно отчетливо показано, что успех ответного действия есть синтетическое целое из обстановочной афферентации и пусковой афферентации и что удельный вес той и другой может меняться в зависимости от складывающихся условий жизни организма.

Эксперименты показали, что этот постоянный органический синтез двух видов афферентации осуществляется при некотором участии лобных отделов коры больших полушарий. Так, например, если у животного с хорошо выработанными условными рефлексами в обстановке двусторонней двигательной реакции произвести удаление лобных отделов, то наблюдается весьма интересное явление. Такое животное будет непрерывно двигаться к правой и левой кормушке, производя маятникообразные движение в станке. Таким образом, вместо спокойного поведения в интервалах между условными раздражителями животное непрерывно реагирует так, как будто на него обстановка стала действовать как пусковой раздражитель[1].

Эти примеры убеждают нас, сколь значительное действие оказывает обстановка, в которой находится данное животное или человек, и, как увидим ниже, это значение возрастает еще более, когда включается новый вид афферентации, именно обратная афферентация.

Обратная афферентация. Эта форма афферентного воздействия на организм представляет для нас в данный момент особенный интерес, поскольку изменяет наши представления о механизмах организованного поведения животного. Являясь аналогом "обратных связей" в кибернетике, этот вид афферентации в физиологии и медицине, естественно, привлекает к себе пристальное внимание. Указания на наличие определенной роли, например, мышечных афферентных импульсов были даны уже давно (Ч.Белл, И.М.Сеченов).

---

[1] *Шумилина А.И.* Физиологические особенности высшей нервной деятельности после удаления лобных отделов коры головного мозга. — Проблемы высшей нервной деятельности. Сборник трудов Института физиологии АМН СССР, 1949.

Однако физиологическая роль обратных афферентаций в организации сложной деятельности животного, в особенности при компенсации нарушенных функций, отчетливо была констатирована и сформулирована лишь в 1935 г.[1]. Разработка этого вопроса вначале велась только в физиологическом направлении. На протяжении многих лет эта концепция не имела точек соприкосновения с областью исследования механических систем, с теорией автоматического регулирования, и только в последние годы в связи с бурным ростом теории обратных связей в кибернетике теория обратных афферентаций в организме стала сопоставляться с этой новой областью знаний. Этим объясняется наличие некоторых недостаточно четких представлений и разграничений соответствующих понятий. Мы имеем в виду прежде всего неправильное понимание роли проприоцептивных, т.е. мышечных, афферентаций в процессе осуществления какого-либо поведенческого акта. Переоценку проприоцептивной афферентации особенно часто допускают зарубежные ученые (Поль Косса, Норберт Винер); иногда такую неточность можно встретить и в советской литературе.

В чем состоит смысл обратной афферентации? В любом физиологическом процессе или в поведенческом акте животного, который направлен на получение какого-то приспособительного эффекта, обратная афферентация информирует *о результатах* совершенного действия, давая возможность организму в целом оценить степень успеха выполненного действия. Так, например, если у человека на основе ряда объективных процессов взаимодействия организма и внешней среды созрело намерение выпить стакан чая и он протягивает руку к стакану с чаем, то тактильное раздражение ладони поверхностью стакана, температурное, весовое, наконец, зрительное раздражение от контакта руки со стаканом, — все эти афферентные раздражения в сумме дают информацию о том, что результат действия соответствует исходному намерению. Однако при осуществлении этого действия само продвижение руки к стакану непрерывно регулируется проприоцептивной сигнализацией, свидетельствующей о правильном и соответствующем распределении сокращенных мышц, о степени

---

[1] См. Проблемы высшей нервной деятельности. Сборник трудов Института физиологии АМН СССР, с. 65, 66.

напряжения руки, о высоте ее положения по отношению к намеченной цели и т.д.

Эта форма афферентации, несомненно, очень важна для осуществления самого движения руки, но она по самой своей сути не может дать центральной нервной системе никакой информации о результатах данного действия, поскольку никакое положение руки и, следовательно, никакая проприоцептивная афферентация не может дать информации о том, взят в руку стакан или чашка? Это обстоятельство, к сожалению, весьма мало учитывается в оценке обратных афферентаций в организме и потому часто приходится видеть, что попытки сопоставления "обратных связей" в организмах и машинах начинаются с проприоцептивной сигнализации, а иногда ею же и заканчиваются[1].

Таким образом, обратные афферентации, возникающие при каком-либо двигательном акте, следует разделить на две совершенно различные категории: а) направляющую движение и б) результативную афферентацию. В то время как первая афферентация представлена только проприоцептивными импульсациями от мышц, осуществляющих движение, вторая афферентация всегда комплексная и охватывает все афферентные признаки, касающиеся самого результата предпринятого движения. Само понятие обратной афферентации мы связываем именно с этим вторым значением, которое имеет всегда организующее влияние на формирование последующих действий организма.

В самом деле последующие двигательные акты организма будут находиться в прямой зависимости от того, в какой степени обратная афферентация о *результатах* действия соответствует исходному стимулу.

Поскольку в жизни организма, в особенности человеческого, нет действий, которые не вытекали бы из предыдущих действий и не вызывали бы последующих действий, то, естественно, в само понятие обратной афферентации должны быть введены соответственные разграничения в зависимости от того, с какой обратной афферентацией мы имеем дело: касается ли она информации о результатах какого-то промежуточного действия или информирует об окончательном выполнении исходного намерения.

---

[1] См. *Косса П.* Кибернетика. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1958. — С. 48.

Так, например, если человек, находясь дома, поставил перед собой цель сделать какую-нибудь покупку, то вслед за возникновением этого намерения разворачивается целый ряд отдельных действий: человек одевается, проверяет наличие денег в кармане, открывает двери, спускается по лестнице, переходит улицу, открывает дверь магазина, выбирает нужный продукт и т.д. Таким образом, намерение купить что-то включает в себя целый ряд промежуточных этапов, которые не могли бы быть осуществлены, если бы на каждом таком этапе человек не получал обратной афферентации от успешного его завершения. Так, например, одевая пальто, он получает совершенно определенную сумму афферентных воздействий от конца этого действия и только после этого начинает открывать дверь. Если бы человек, надев один рукав, вышел на улицу, то это удивило бы окружающих людей. И в самом деле, это означало бы, что его нервная система не имеет дифференцировки между обратными афферентациями, заключающими каждый этап его действия. Из этого следует, что всю категорию обратных результативных афферентаций мы должны подразделить на две отдельные формы: этапная обратная афферентация и конечная, или санкционирующая, обратная афферентация, которая соответствует осуществлению основной цели данного поведенческого акта.

Ясно, что критерием для такого распределения обратных афферентаций является то намерение, которое хочет осуществить человек в данный момент и поэтому, естественно, в зависимости от широты задач и от характера каждого действия мы можем иметь большее и меньшее количество этапов выполнения намерения, а в отдельных случаях этапная афферентация может быть и санкционирующей, или конечной, афферентацией. В самом деле, покупка чего-либо в магазине отнюдь не является концом всей деятельности человека, ибо она может быть только этапом в осуществлении более длинной цепи актов, например поездки в другой город. Здесь нам важно отметить, что обратная афферентация по самой своей сути является афферентацией о результатах действия и, следовательно, весьма близко соответствует той информации, которая непрерывно поступает от регулируемого объекта по каналам обратной связи в сложных машинах с автоматической регуляцией.

Винер в книге "Кибернетика и общество" не вдается в

физиологическую суть обратных афферентаций в организме, и потому все аналогии между явлениями в организме и машине выглядят весьма схематическими.

Следует отметить, что понятие "ведущей афферентации", введенное нами в 1940 г., представляет собой тот решающий минимум афферентных воздействий, который остается после автоматизации данного поведенческого агента.

Из всего сказанного выше ясно следует, что степень достоверности всех аналогий между машинами и организмами будет находиться в прямой зависимости от того, с какой тщательностью могут быть вскрыты и проанализированы все особенности афферентной информации в организме при осуществлении им самых разнообразных действий.

4. ПРОЦЕССЫ САМОРЕГУЛЯЦИИ В ОРГАНИЗМЕ И КИБЕРНЕТИКА

Понятие о саморегуляции функциональных отправлений в организме не ново. Оно очень давно было установлено в связи с поддержанием постоянного уровня кровяного давления в организме на основе взаимодействия двух противоположно направленных по своему эффекту аппаратов организма: прессорных и депрессорных[1].

Но, пожалуй, наиболее четко принцип саморегуляции функций был сформулирован И.П.Павловым. Организм есть система, писал он, "в высшей степени саморегулирующаяся система, сама себя поддерживающая, восстанавливающая, поправляющая и даже совершенствующая"[2].

Если внимательно проанализировать самый принцип саморегуляции какой-либо функции организма, то окажется, что общая архитектурная особенность любой такой функциональной системы совершенно соответствует тем "замкнутым" контурам и "функциональным схемам", с которыми имеет дело теория автоматического регулирования в технике.

---

1 *Павлов И.П.* Полное собрание трудов, т. I. — М. — Л.: АН СССР, 1940, с. 44—49.

2 *Павлов И.П.* Полное собрание трудов, т. III. — М. — Л.: АН СССР, 1949, с. 454.

В самом деле, что является наиболее характерной чертой саморегуляции какой-либо функциональной системы организма, например поддержание постоянного уровня сахара в крови?

Наиболее характерным для процесса саморегуляции является то, что само отклонение от константного уровня какой-либо функции является стимулом к возвращению нарушенного уровня. Если мы сопоставим эту формулировку с тем, как определяется какая-либо система механизмов с автоматической регуляцией, то мы увидим, что там имеет место эта же закономерность. Если заданное состояние регулируемого объекта машины сопоставить с константным уровнем, например, сахара в крови, то и там любое возмущающее воздействие, отклоняющее уровень от постоянной величины, будет как раз источником обратной информации к самим регулирующим механизмам; она будет способствовать реорганизации управляющих сигналов и приведет, наконец, к восстановлению исходного состояния регулируемых объектов.

По сути дела все жизненно важные константы организма (сахар в крови, осмотическое давление крови, содержание углекислого газа в крови, температура тела, уровень давления крови и т.д.) поддерживаются на основе описанного выше принципа. Следовательно, именно в принципе саморегуляции функций организма мы имеем наиболее полное подобие функциональной архитектуры между организмом и автоматически регулирующимися машинами.

Дело в том, что константные свойства регулируемого объекта в машине задаются при постройке машины инженером-конструктором, что составляет для данной машины, по выражению Винера, "программную катушку". В организме же эти свойства вегетативных систем, т.е. "регулируемого объекта", определяются наследственно складывающимся метаболизмом некоторых мозговых или других клеток организма. В соответствии с этими особенностями физиологических свойств клетка немедленно реагирует на изменения какого-либо фактора крови, если речь идет о функциональной системе, регулируемой через кровь.

Так, например, при мышечной работе, когда происходит повышенная трата сахара крови, экстренное снижение ее концентрации в крови является стимулом, способствующим выходу повышенного количества адреналина в кровь из надпочечников. Попадая через кровь в печень, адреналин действует здесь как

стимул к распаду гликогена до стадии глюкозы, которая и выходит в кровь в повышенном количестве. Благодаря этому "малому сахарному кругу" уровень сахара в крови оказывается выравненным. Эта циклическая система регуляции, направляемая клетками надпочечников и головного мозга, в особенности гипоталамуса и гипофиза, оказывается настолько строгой, что даже при малейшем изменении количества сахара в крови немедленно включается целая серия "механизмов", выправляющих произведенное "возмущение".

Можно привести еще один пример, который с еще большей убедительностью показывает, насколько тонко организм приспособился в процессе эволюции к поддержанию постоянства некоторых важных для его деятельности констант. Возьмем осмотическое давление крови. Эта константа особенно строгая и малейшее нарушение ее включает самые высшие приспособительные механизмы организма — кору головного мозга, которая и помогает обеспечить постоянство данной функции. Как показали исследования последних лет, в области гипоталамуса имеются нервные клетки особенной конструкции. Они имеют сбоку своеобразные пузырьки, которые чрезвычайно чутко реагируют на всякое изменение осмотического давления крови, протекающей по соседним капиллярам. При одном изменении, например в сторону повышения осмотического давления крови, поверхность уменьшается. Это служит для окончания нервной клетки стимулом распространения возбуждения по определенным системам головного мозга. В результате этого возбуждения субъективное состояние человека характеризуется как состояние "жажды" и человек испытывает желание напиться.

Когда осмотическое давление крови уменьшается, эти клетки, претерпевая обратные изменения, несут возбуждение к другим системам мозга, которые отчасти регулируют выделение воды из организма (диурез), а отчасти толкают животное или человека на поиски "чего-нибудь соленого".

В этих механизмах саморегуляции, удерживающих постоянный уровень осмотического давления крови при любых условиях, особенно интересным является то, что побудительный толчок осуществляется с помощью очень малого количества энергии, между тем последствия его, как, например, утоление жажды, могут требовать больших затрат, скажем, если надо достать воду

из колодца. Здесь мы имеем прообраз всех "сервомеханизмов", которые, будучи включенными в автоматически регулирующиеся системы, могут одним простым замыканием пускать в действие мощные агрегаты и целые заводы.

В последние годы изучение саморегулирующихся приспособлений при поддержании постоянного уровня какой-либо функции в организме приобрело особенно широкий размах. Свидетельством этого является проведение ряда специальных совещаний. Можно указать, например, на симпозиум, происшедший в 1957 г. в Западной Германии[1], где подробнейшим образом были разобраны подобные примеры саморегуляции в сопоставлении их с теорией автоматического регулирования в кибернетике. Правда, немцы избегают слова "кибернетика" и заменяют его всюду понятием "биологического регулирования"[2].

В результате приведенных выше сопоставлений возникает естественный вопрос: что может дать кибернетика в результате ее связи с физиологией саморегулирующихся систем организма?

В настоящее время дело пока не идет дальше сопоставления и подыскания аналогичных систем циклического характера, но уже сейчас можно сказать, что математическая обработка подобных машин с автоматическим регулированием и перенос этих расчетов на саморегулирующиеся функциональные системы организма, несомненно, помогают предвидеть существование таких физиологических механизмов, которые непосредственно в физиологическом эксперименте пока не обнаружены.

Так, например, в кибернетике известен способ моделирования самого регулируемого объекта в зависимости от привходящих условий и новой обстановки регуляции. Следовательно, регулируемый объект не всегда может быть константным, он может менять свое состояние, и следовательно, менять состав возникающей от него обратной информации в зависимости от заданных измененных условий. Если, к примеру, работа станков и механизмов рассчитана при определенной температуре и в соответствии с этим рассчитана как управляющая информация, идущая к регулируемому объекту, так и обратная информация, идущая

---

1 Процессы регулирования в биологии. Сборник статей. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1960.

2 *Wagner R.* Probleme und Biespile Biologisher Regelung, Stutgart, 1954.

к регулируемому объекту, так и обратная информация, идущая в регулирующее устройство, то изменение температурных условий, скажем, значительное повышение температуры, очевидно, повлечет за собой изменение параметров и режима системы. Если же в данную машину ввести дополнительное устройство, которое сделало бы работу всей машины независящей от смены температуры регулируемого объекта и удерживало бы только определенные параметры этого регулируемого объекта, то работа всего автоматически регулирующегося агрегата сохранила бы свой производственный эффект.

Подобные изменения работы саморегулирующихся систем мы имеем и в организме. Так, например, "заданный" константный уровень содержания углекислоты в крови у нормального человека определяется весьма тонкой и избирательной чувствительностью к углекислому газу определенных рецепторных окончаний сосудистого русла и самого дыхательного центра, особенно его фрагментов, находящихся в ретикулярной формации ствола мозга. Однако есть специальные патологические состояния человеческого организма, когда чувствительность клеток к углекислому газу значительно меняется. Так, например, существует хроническое патологическое состояние, получившее название эмфиземы, при котором концентрация углекислого газа в крови систематически и весьма медленно повышается. В этих случаях мы видим, что клетки дыхательного центра, как и хеморецепторы сосудов, изменяют свой метаболизм таким образом, что раздражаются уже только при наличии большого количества углекислого газа в крови. Благодаря этому эмфизематик может чувствовать себя достаточно удовлетворительно даже при такой концентрации углекислого газа в крови, при которой нормальный человек немедленно умер бы.

Таким образом, конечный полезный эффект, вокруг которого развивается работа саморегулирующихся механизмов и ради которого происходит смена и включение различных механизмов, достигается как в машинах, так и в организме на основе одной и той же функциональной архитектуры, т.е. на основе замкнутых систем и обратной афферентации. Это обстоятельство и является тем отправным пунктом, на основе которого физиология и кибернетика могут устанавливать дальнейший контакт и творческое содружество в работе.

5. КИБЕРНЕТИКА И РЕФЛЕКТОРНАЯ ТЕОРИЯ

Согласно рефлекторной теории, всякий внешний стимул, приложенный к чувствительным аппаратам организма, проходя через центральную нервную систему, вызывает на периферии, т.е. в рабочих органах, тот или иной ответный акт. В целом весь этот путь получил метафорическое обозначение — "рефлекторная дуга".

Трудно переоценить то грандиозное значение, которое имела рефлекторная теория на протяжении 300 лет изучения деятельности живого организма. Можно без преувеличения сказать, что все наши представления о механизмах приспособлений животных к внешнему миру и о механизмах установления координированного взаимодействия внутри организма покоятся на этом представлении о рефлексе. Можно сказать, что в выработке материалистического представления о функциях нервной системы животных и человека мы в значительной степени обязаны рефлекторной теории. Достаточно познакомиться с гениальной работой Ивана Михайловича Сеченова "Рефлексы головного мозга", чтобы понять, сколь плодотворным был и является этот принцип физиологии. Вместе с тем современное развитие рефлекторной теории и в особенности то новое, что внес в нее И.П.Павлов, заставляет расширить ее рамки и перевести ее, как выразился И.П.Павлов, "из первобытной формы в другую, несколько более сложную вариацию понятий и представлений. Ясно, что в том виде, в каком оно сейчас, оно не может обнять всего того материала, который в настоящее время скоплен"[1]. Важно отметить, что рефлекторная теория в своем дальнейшем развитии была обогащена принципом обратной афферентации от результатов рефлекторного действия.

Рефлекторная теория материализовала весь процесс ответного действия организма на какое-либо раздражение, однако существенным недостатком рефлекторной теории было то, что она ограничивала весь процесс приспособления только действием. На ответном действии заканчивались все представления в рефлекторной теории о приспособительном значении этого действия. В формулировках рефлекторной теории заключается как бы сама по себе подразумевающаяся целесообразность ответного дейст-

---

[1] *Павлов И.П.* Полное собрание трудов, т. III, с. 90.

вия. Рефлекторная теория не ставила вопроса о том, что произошло бы с нервными механизмами, если бы рефлекторный акт в какой-то степени не достиг приспособительного эффекта, иначе говоря, рефлекторная теория не учитывала возможности к постоянной обратной афферентации, которая непрерывно информирует центральную нервную систему о степени успешности каждого рефлекторного акта.

Само собой разумеется, что это было весьма значительным дефектом рефлекторной теории, ибо огромная область явлений, обеспечивающих приспособления животного и особенно восстановление нарушенных функций, оказывалась недоступной анализу на основе только классической теории рефлексов. Мы уже видели в разделах 1, 2, 3, что обратное афферентирование результатов действия является столь же необходимым и столь же постоянным, как и прочие звенья дуги рефлекса. Естественно поэтому, в особенности в связи с той перестройкой наших представлений, которую повлечет за собой кибернетика, обратная афферентация должна стать законным членом всего рефлекторного приспособления в целом. Можно привести десятки примеров в дополнение к тем, которые уже разобраны нами в третьем разделе. Эти примеры убедительно доказывают необходимость афферентирования не только конца целой серии актов, но и каждого этапа приближения к конечному эффекту (обратная поэтапная афферентация). Так, например, водяной скорпион (nepa cinerea) захватывает добычу конечностью и затем, поднеся ее ко рту, пережевывает. Этот автоматический акт происходит всякий раз, как только на небольшом расстоянии от скорпиона появляется движущееся мелкое насекомое. Если отрезать ту часть головы, где находится ротовое отверстие, картина поведения скорпиона меняется. Он так же, как и раньше, захватывает добычу, потом конечность движется по направлению ко рту, но здесь она останавливается, и в такой застывшей позе насекомое может находиться неопределенно долгое время.

Можно произвести другой эксперимент: отрезать кончик конечности, с помощью которого скорпион захватывает добычу. Тогда он на поступающее раздражение от мелкого насекомого делает как и раньше хватательные движения, однако в этом положении конечность так и застывает, *движения к области рта не происходит*.

Если посмотреть на оба примера с точки зрения рефлектор-

ного действия в его классической трактовке, то в сущности налицо имеется законченный рефлекторный акт, однако приспособительного действия в целом нет.

Ясно, что в первом случае конечность с добычей застывает перед областью рта потому, что в центральную нервную систему скорпиона не поступает афферентации от рецепторов рта, которые должны завершить акт поступления добычи в полость рта. Во втором случае конечность остается застывшей в позе схватывания потому, что центральная нервная система не получила обратной афферентации от концевого отдела конечности, что добыча схвачена. Следовательно, оба случая демонстрируют на довольно стереотипных актах небходимость обратной афферентации при совершении целой цепи рефлекторных действий, заканчивающихся полезным эффектом.

В связи с этим следует отметить, что на основе прежнего представления о "цепном рефлексе" нельзя объяснить приведенные выше эксперименты. В представлении о цепном рефлексе есть серьезный недостаток: обычно полагают, что все его звенья составляют механическую цепь по принципу "конец одного действия является началом для другого". Как мы видели при разборе обратных афферентаций, таких соотношений в действительности не существует, ибо каждый акт должен закончиться обратной афферентацией от результатов этого этапного акта, и только после поступления в центральную нервную систему обратной афферентации о благополучном завершении данного этапа может начаться формирование следующего акта[1].

Резюмируя вышесказанное, мы должны отметить, что эти дополнения, несколько преобразующие классическую "дугу рефлекса", раскрывают более глубокую связь физиологии с кибернетикой, поскольку и здесь и там "обратные связи" решают вопрос об эффективности приспособительных действий.

6. УСЛОВНЫЙ РЕФЛЕКС И КИБЕРНЕТИКА

Не случаен тот факт, что и сам Н.Винер, и многие его последователи, да и критически настроенные авторы при анализе

---

1 *Анохин П.К.* Особенности афферентного основания условного рефлекса и его значение для психологии. Вопросы психологии, 1955, № 6. — С. 16—38.

перспектив развития кибернетики непременно заканчивают изложение характеристикой ее отношения к условным рефлексам и к поведению человека. Мы видели, что эта органическая связь вытекает из самой эволюции замкнутых систем с обратной связью.

Говоря о значении обратной связи для поведения животных, Винер называет ее "способностью живого существа устанавливать свое будущее поведение на основании прошлого опыта". Он пишет: "Обратная связь может быть такой же простой, как при обычном рефлексе, но она может быть и обратной связью высшего порядка, при которой прошлый опыт используется для регулирования не только специальных движений, но и целой линии поведения. Такая обратная связь, определяющая поведение, может проявляться, да часто и проявляется, в виде того, что нам известно в одном аспекте как условный рефлекс, а в другом — как обучение"[1]. Французский математик Луи де Бройль, обсуждая проблемы кибернетики, писал: "...Теория счетных машин, теория передачи сигналов... должна дать нам много сведений о нормальной и патологической деятельности нервной системы и, в частности, о механизме рефлексов". "Блестяще изученные Павловым условные рефлексы также входят в эту общую главу"[2].

Можно было бы привести целый ряд подобных высказываний, но дело не в этом. Нам важно сейчас установить, на чем именно в условном рефлексе основывают кибернетики свои далеко идущие аналогии. Из приведенных высказываний ясно, что приобретение опыта и использование этого опыта в последующем поведении являются теми общими способностями животных и человека, успешное подражание которым в машинных моделях стерло бы принципиальную границу между "роботом" и человеком. Но именно здесь-то и надо вспомнить то сомнительное положение кибернетики, согласно которому общность функциональных проявлений способностей должна соответствовать общности их частных механизмов. При ближайшем знакомстве с

---

1 *Wiener N.* The Humas Use of Human Beings. Cybernetics and Society, Boston, 1954, p. 33.

2 *de Broglie L.* Vue générale ot philosophique sur la cybernétique "Structure et Evolution de techniques", № 35—36, 1953—1954, p. 48, 52.

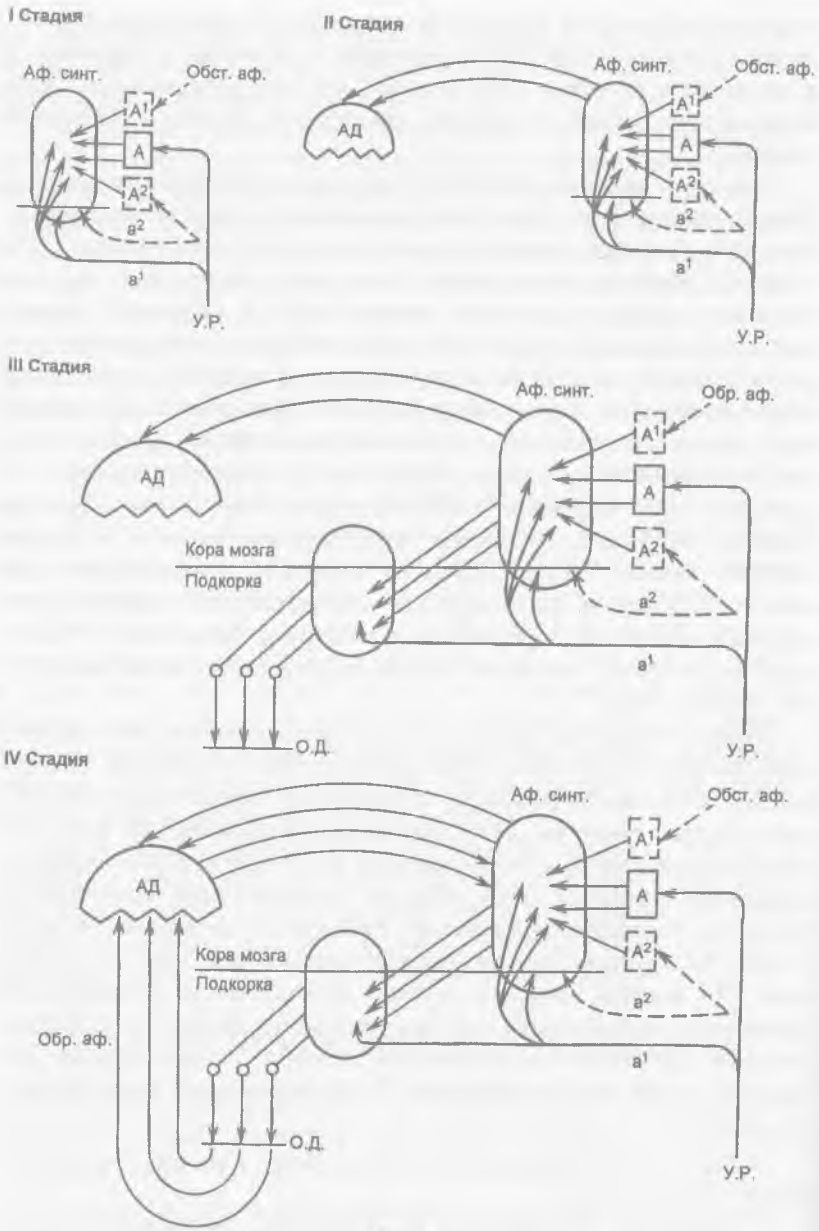

I Стадия
Аф. синт.
Обст. аф.
A1
A
A2
a2
a1
У.Р.
II Стадия
АД
Аф. синт.
Обст. аф.
A1
A
A2
a2
a1
У.Р.
III Стадия
АД
Аф. синт.
Обр. аф.
A1
A
A2
Кора мозга
Подкорка
a2
a1
О.Д.
У.Р.
IV Стадия
АД
Аф. синт.
Обст. аф.
A1
A
A2
Кора мозга
Подкорка
a2
Обр. аф.
a1
О.Д.
У.Р.

Рис. 1.

этим вопросом мы убеждаемся, что сторонники кибернетики при обращении к условным рефлексам имеют в виду то кардинальное и принципиально новое, что дало открытие условного рефлекса в начале девятисотых годов. Однако для более детального обсуждения вопроса этого уже недостаточно. Для этого необходимо установить механизм условного рефлекса, если его рассматривать в аспекте всех последних достижений школы И.П.Павлова, а также последних достижений нейрофизиологии.

Только вскрыв глубокие физиологические механизмы условного рефлекса, мы можем установить, что именно и в каком виде может быть заимствовано кибернетикой для моделирования и построения различных аналогий. Глубокий физиологический анализ механизмов условного рефлекса вместе с тем может показать нам конкретно, каким образом нервная система позволяет животному и человеку использовать прошлый опыт в дальнейшем поведении. А разобрав эти специфические особенности механизмов условного рефлекса, мы, естественно, сможем поставить вопрос и о том, имеются ли аналогичные приспособления в машинных устройствах автоматического регулирования.

Все эти вопросы можно разрешить успешно на основе конкретной динамической схемы механизмов условного рефлекса, которую мы можем в настоящее время считать достаточно обоснованной (см. рис. 1).

Подпись к рис. 1.

Изображение последовательных стадий выявления прочного условного рефлекса в ответ на условный раздражитель.

Первая стадия — синтез всех разнообразных внутренних и внешних афферентных воздействий на организм (А — анализатор пускового стимула; A^1 A^2 — обстановочные раздражители для различных анализаторов; a^1 a^2 — коллатеральное действие пускового и обстановочных стимулов на ретикулярную формацию ствола мозга; У.Р. — условный раздражитель).

Вторая стадия — образование акцептора действия на основе афферентных следов от прежних раздражителей (А.Д.).

Третья стадия — формирование ответного действия (О.Д.), которое развертывается всегда позднее акцептора действия.

Четвертая стадия — возникновение обратных афферентных возбуждений от всех сторон и признаков достигнутого результата. В данном примере обратная афферентация от результатов действия точно совпала с характером акцептора действия, т.е. результаты точно соответствуют замыслу (или намерению) к совершению действия.

Приведенная схема является синтетической. Она включает в себя все достижения современной нейрофизиологии, помогающие понять архитектуру условного рефлекса, и, кроме того, в ней отражены те данные по физиологии высшей нервной деятельности, которые получены были нами за последние годы.

Первый пункт, требующий тщательного обсуждения, состоит в особенностях соотношения двух видов афферентных раздражений, на которых строится условный рефлекторный ответ. Их можно назвать соответственно: а) "пусковой афферентацией", представленной непосредственным действием самого условного раздражителя (У.Р.), и б) "обстановочной афферентацией", представленной совокупностью раздражений от обстановки эксперимента и от всех тех предшествовавших опыту раздражений, которые создают определенное доминантное состояние животного.

Уже сейчас можно сказать, что при всех попытках кибернетиков моделировать условный рефлекс или какие-либо его фрагменты органическое объединение обстановочных и пусковых афферентаций, несомненно, явится "камнем преткновения". В самом деле, как мы видели, совокупность обстановочных афферентаций создает предпосылку к развертыванию той или другой условной реакции. Но состав обстановочных афферентаций исключительно сложен и, что особенно важно, разнообразен и динамичен до бесконечности. Можно ли построить машину так, чтобы ее поведение зависело от синтеза обстановочных и пусковых воздействий на нее? Во всяком случае, это первая, но не последняя трудность на пути подражания условному рефлексу. Обычно же для анализа и моделирования берется изолированное действие одного какого-либо пускового раздражителя.

Из приведенной схемы поэтапного формирования условного рефлекса видно, что в ответ на условный раздражитель все раздражители внешнего и внутреннего мира неизбежно должны пройти стадию афферентного синтеза. Физиологическое основание выделения этой стадии состоит в том, что никакое рефлекторное действие не может быть сформировано в эффекторных аппаратах до тех пор, пока не закончен синтез всех афферентных воздействий, падающих на организм в данный момент. Именно результаты афферентного синтеза определяют, какое действие должно быть сформировано на эффекторной стороне при наличии данной совокупности афферентных раздражений. Важно по-

мнить, что без этой стадии не может быть сформирован ни один поведенческий акт животного, а особенно человека. Однако этим дело не ограничивается. Многолетние работы нашей лаборатории показали, что точно в тот же момент, когда заканчивается синтез всех афферентных раздражений и когда начинается формирование в эффекторной части соответствующего рефлекторного действия, складывается особый афферентный аппарат, названный нами в свое время акцептором действия (см. рис. 1, А.Д.). Физиологические свойства этого аппарата нами были описаны в специальных публикациях, и потому здесь мы останавливаться на этом подробно не будем.

Для настоящей статьи нам нужно лишь отметить два важнейших свойства афферентного аппарата, с которыми, к сожалению, не знакомы авторы, делающие попытки моделировать условный рефлекс. Прежде всего этот аппарат формируется раньше условного рефлекса в его эффекторном выражении, следовательно, он на какое-то время опережает появление ответного действия. С позиций физиологии, мы можем сказать, что момент окончания стадии афферентного синтеза в психологическом отношении применительно к человеку может соответствовать моменту возникновения "намерения к действию". Это обстоятельство определяет дальнейшую физиологическую роль акцептора действия, принимающего на себя в форме обратной афферентации (см. рис. 1. Обр. аф.) все афферентные раздражения, которые возникают от результатов действия; аппарат акцептора действия производит сопоставление результатов афферентного синтеза, т.е. замысла действия, с результатами произведенного действия.

Совпадение этих возбуждений заканчивает, следовательно, весь циклический процесс, в то время как их "рассогласование" вызывает целый ряд новых реакций, которые должны дать в конце концов рефлекторный ответ, соответствующий характеру акцептора действия. Во всех случаях так называемого произвольного поведения, как и при появлении условного рефлекса в ответ на условный раздражитель, акцептор действия является постоянным направляющим фактором, дающим возможность определить соответствие произведенного действия исходному замыслу.

Таким образом, для кибернетики вопрос об "обратных связях" является центральным, поскольку благодаря этим связям

осуществляется последующая подгонка соответствующих воздействий на "регулируемый объект". Однако при моделировании условного рефлекса по внешним чертам сходства обычно не думают о том, что *раньше, чем осуществится действие, в головном мозгу всегда формируется аппарат оценки этого предстоящего действия.* Мы видим в этом второе принципиальное препятствие для моделирования условного рефлекса, так как без акцептора действия немыслима никакая приспособительная деятельность животных и особенно человека. Французский нейрофизиолог Фессар в своей статье по кибернетике указывал, что нечто подобное существует в машинах автоматического регулирования, но он не знает аналога этому в деятельности нервной системы. "Употребляются такие цепи "предвидения", — писал он, — когда рабочий механизм предупреждается заранее о будущем приходе приказа. Очень вероятно, что такие же приспособления существуют и при работе нервной системы. *Нейрофизиологам надо попытаться решить эту трудную задачу — доказать существование таких приспособлений и различных частных случаев*"[1] (курсив мой. — *П.А.*).

Мы уже показали выше, что аппарат "предвидения" уже давно нами найден. В настоящее время его основные свойства доложены на международном симпозиуме по "Механизмам мозга", состоявшемся в Монтевидео (1959 г.). Надо только посмотреть, в какой мере он может быть воспроизведен в соответствующих механических моделях. Весьма сомнительно, что он может быть имитирован в механических моделях, поскольку он всегда складывается ex temporе и всегда на основании синтеза многообразных внешних и внутренних раздражений организма. Если мы можем приблизиться к этому, то уж во всяком случае с обязательным учетом наличия такого аппарата в нервной системе.

Подводя итог всему приведенному материалу, мы можем высказать следующие резюмирующие положения:

1. Кибернетика — это направление мысли, стремящееся найти общие черты у явлений различного порядка и на основе этой общности раскрыть механизмы функционирования различных

---

[1] Structure et Evolution de techniques, № 35, 36, 1953—1954, p. 30.

систем, в частности нервной системы, и методы управления этими системами. В этом смысле данное направление мысли заслуживает всяческой разработки специалистами различных профилей.

2. Основные исходные положения кибернетики еще и сейчас не являются четко сформулированными, а исторические основания для наличия общих черт у разнородных явлений остаются еще не вскрытыми. Между тем только на этом пути можно отчетливо представить себе, до какого предела общие черты у явлений различного класса могут быть использованы для моделирования. Имеющаяся литература по этому вопросу, как зарубежная, так и наша, не дает еще пока решения этой проблемы.

3. Теория обратной афферентации в физиологии, развиваемая нами с 1935 г., содержит в себе все черты "обратных связей" кибернетики и потому может служить как для анализа всех форм саморегулирующихся функций, так и для расширения возможностей при построении аналогичных механических моделей.

4. Общая архитектура замкнутых систем с обратной афферентацией, или с обратной связью, применима для понимания всех тех приспособительных актов человека, которые заканчиваются полезным эффектом. В этом смысле вторая сигнальная система, характерная лишь для человека, целиком подчиняется этому правилу.

5. Никакие модели условнорефлекторных ответов не могут претендовать даже на отдаленное сходство с действительным условным рефлексом, если в них не будут учтены два кардинальных процесса: а) процесс афферентного синтеза и б) образование акцептора действия как аппарата "оценки" результатов действия. Создание же так называемых самообучающихся машин не может быть аргументом против высказанного положения. Это "обучение" имеет сходство с действительным обучением только по конечному эффекту. Оно идет через совершенно другие механизмы и не сопоставимо с упомянутыми выше свойствами живого организма и его нервной системы.

ПРЕДИСЛОВИЕ[1]

к книге У.Р.Эшби "Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения"

В последние годы был опубликован ряд переводных книг по вопросам кибернетики. Конечно, эти публикации не исчерпывают всего того, что в действительности печатается за рубежом по кибернетике и по смежным направлениям науки. Достаточно указать, например, что только кибернетическому осмысливанию вопросов нервной системы посвящено в последние годы несколько монографий, в частности монографии Джорджа "Мозг как вычислительная машина", Розенблита "Сенсорные коммуникации", Стенли-Джоунса "Кибернетика естественных систем" и ряд других. В этих книгах рассматривается в основном связь конкретных процессов, протекающих в нервной системе, с теми закономерностями, которые были сформулированы в кибернетике и считаются специфическими для данного научного направления.

Среди этих монографий особое место занимает книга Эшби "Конструкция мозга", необычная для публикаций кибернетического направления. Автор в сущности не рассматривает в ней какой-либо конкретный физиологический механизм и не анализирует его детали с точки зрения кибернетики и ее закономерностей. Его интересует та логическая структура, которая служит как бы матрицей для всякого рода сложных взаимодействий как в пределах организма, так и между организмом и внешней средой в особенности. Сам Эшби называет это "логикой механизма", и действительно, сопоставляя различные этапы развертывания процессов в сложных системах, он раскрывает эту логику и устанавливает неизбежную последовательность процессов там, где изучение деталей могло бы и не раскрывать этой логической структуры. Эшби хорошо известен советскому читателю по его

---

[1] В кн.: *Эшби У.Росс.* Конструкция мозга. Происхождение адаптивного поведения. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1962. — С. 5—14.

работам с анализом и конструированием гомеостатичекой системы (гомеостат Эшби). Однако настоящая книга идет гораздо дальше тех проблем, которые были подняты в его "Кибернетике".

Эшби пытается сейчас понять и проанализировать ту грандиозную разницу между его гомеостатом и реальным организмом, которая обнаруживается в условиях, когда и тот и другой приспосабливаются (адаптируются) к различным изменениям. Он пришел к довольно печальному выводу, что гомеостату, который представляет собой обычную саморегулирующуюся машину, для того чтобы адаптироваться к какому-либо изменению, потребовалось бы много миллиардов лет, тогда как живому организму часто достаточно для этого всего лишь долей секунды. Этот простой математический расчет Эшби и служит основной отправной идеей в изучении и построении приспосабливающегося гомеостата; в сущности, вторая половина книги целиком посвящена раскрытию тех логических структур механизма приспособления, которая отличает организм от механического автомата.

В этом смысле нельзя не отметить, что значительное достоинство книги Эшби состоит именно в том, что в ней намечается вполне определенный путь для анализа сложных и простых "ультрастабильных" систем. Автор постепенно раскрывает свойства этих систем как в отношении их компонентов, так и в отношении отдельных "подсистем" и их взаимодействия. Интересно, что этот анализ ведется не в применении к какому-либо конкретному механическому или биологическому процессу, а именно в плоскости логических взаимоотношений, которые могут служить своего рода таблицей умножения, применяемой в самых разнообразных направлениях.

Практически так оно и есть на самом деле. Выводы Эшби, касающиеся, например, взаимодействия отдельных систем и доминирования одних систем над другими, применимы в одинаковой степени ко многим системам организма. Так, например, эти заключения можно применить как на уровне подкорковых функций, так и в масштабе межмолекулярных взаимодействий в пределах одной клетки.

Несколько необычный подход Эшби к построению логики механизма несомненно поможет исследователям, особенно молодым, "отточить" острие логического анализа наблюдаемых в

организме явлений и научит строить логические структуры там, где, казалось бы, можно обойтись одним прямым аналитическим исследованием.

Вместе с тем необходимо сделать несколько замечаний и о недостатках такого подхода, если он не коррелируется все время с фактами и закономерностями самого биологического процесса. Подходя к анализу этого вопроса с философских позиций, мы могли бы сказать, что закономерности неорганического мира могут влиять и, конечно, влияли на организм на протяжении многих веков, но едва ли можно в этом влиянии видеть только одну механическую и физико-химическую сторону. Надо помнить, что с появлением на Земле первых живых существ радикально изменился самый критерий взаимодействия, центральной проблемой стала проблема выживания, и поэтому все отношения организма к внешнему миру строились, развивались и закреплялись в его структурах под влиянием этого основного критерия.

Любое явление, наблюдаемое в живом организме, можно рассматривать и как физико-химическое и как биологическое. Это накладывает определенную ответственность на наши попытки оценить логику механизмов. Эшби, например, с самого начала отказывается вносить в оценку взаимодействий живых систем с внешним миром критерий полезности в любой его форме. Быть может, для какого-то этапа исследования и следует отрешиться от этого критерия; например, мы можем изучать законы действия световой энергии на элементы сетчатки независимо от того, будет ли этот луч света в дальнейшем убивать животное или, наоборот, будет стимулировать его приближение к вкусной пище. Но такое игнорирование биологических факторов может быть, конечно, только временным. Как только исследователь делает попытку сформулировать более общие закономерности в жизни организма, он неизбежно сталкивается с тем, что в процессе эволюции развились такие морфологические структуры и такие функциональные свойства мозга, которые обеспечивают наиболее выгодное приспособление животного к окружающему миру; эта "выгодность", конечно, есть не что иное, как наибольшее приближение к оптимальному состоянию организма и наибольшее удаление от условий, опасных для жизни. Следовательно, уже потому только, что на Земле появилась жизнь, неизбежно возник и критерий вредности или полезности факторов внешней среды.

В сущности, и сам Эшби ощущает необходимость внесения чего-то, подобного критерию вредности и полезности, ибо он не раз подчеркивает, что при всяком последовательном изменении состояния системы она имеет тенденцию развиваться в сторону "лучшего". И хотя у Эшби нет определенного и устойчивого мнения по поводу роли этого "лучшего", он все же прибегает к нему несколько раз на протяжении книги для более прочной аргументации поведения живых систем.

Так, например, Эшби довольно подробно разбирает метод "проб и ошибок", совершенно справедливо считая его универсальным путем выработки нового поведения. Однако невольно возникает вопрос: что же направляет эти пробы, какой фактор неуклонно ведет их к максимальному успеху и к отсечению всех тех многочисленных вариаций поведения, которые не привели к необходимому результату?

Эшби не дает ответа на эти принципиальные вопросы, и это, несмотря на исключительную ценность его попытки разработать "логику механизма", показывает, что при объяснении детальных механизмов адаптации необходимо всегда учитывать биологические закономерности.

В самом деле, Эшби полностью игнорирует два крайне важных фактора, направляющих всю линию проб и ошибок и неизбежно приводящих животное к наиболее экономному решению какой-нибудь задачи. Между тем эти факторы — устойчивость врожденных констант организма и подкрепляющий характер жизненно важных стимуляций — определяют и заканчивают каждую линию поведения у такой мультистабильной системы, какой является человек и высшие животные.

Между тем Эшби в самом начале своей книги оговаривает, что ему не нужны для его построения врожденные рефлексы и подкрепления как завершающие биологические факторы. Мне кажется, что, выбрасывая за борт эти два серьезных фактора, без которых вообще не строится никакое поведение, Эшби поставил себя в чрезвычайно трудное положение. Фактически он стремится войти в дом, от которого уже заранее выбросил ключи. Таким же недостатком, на мой взгляд, является и отбрасывание прошлого опыта, или, как его называет Эшби, "заимствованного знания": ведь любое целенаправленное поведение неизбежно содержит элементы прошлого

опыта; оно даже и формироваться-то не будет без учета этого прошлого опыта.

Таким образом, мы видим, что основные погрешности в общей конструкции книги Эшби состоят в необоснованном исключении биологического уровня трактовки предмета. Едва ли можно сомневаться в том, что наличие широкой общебиологической установки необходимо даже в том случае, когда исследователь работает на уровне молекулярных процессов.

В этом смысле интересно привести мнение Эшби о роли наказания как фактора, влияющего на поведение системы. Он пишет: "Понятие наказания несложно, так как оно означает, что те или иные органы чувств или нервные окончания подверглись раздражению, достаточно сильному для того, чтобы вызвать изменение ступенчатых функций в нервной системе..." (стр. 170). Как видно из этой цитаты, Эшби рассматривает наказание только как механический результат силовых отношений в системе, но вряд ли это рассуждение применимо к таким наказаниям, которые сопровождаются просто отсутствием раздражителя (например, лишение ребенка пирожного). Как мы знаем, с биологической точки зрения такое отсутствие раздражителя имеет не меньшее "наказующее действие", чем, например, реальное физическое наказание.

Такой же недостаток в основных посылках мы видим и в объяснении адаптации к раздражителю, повторяемому несколько раз (привыкание). Эшби объясняет эту адаптацию тем, что система, реагирующая на раздражитель, непрерывно редуцируется и стремится к уменьшению числа своих компонентов, и, следовательно, адаптация возможна только по отношению к такому раздражителю, который не прекращает сразу всю деятельность организма. Конечно, в какой-то степени это рассуждение верно, поскольку системы мозга в самом деле имеют тенденцию реагировать все более и более редуцированно, пока, наконец, их реакция не сведется только к реакции соответствующего рецепторного аппарата и некоторых ближайших нервных образований. Но это правильно лишь для тех раздражителей, которые биологически нейтральны, т.е. не несут за собой более мощных раздражений, опасных для жизни. Если же раздражитель оказывает дальнейшее, скажем болевое, воздействие, то организм к нему не адаптируется; более того, этот раздражитель

приобретает все большее и большее значение, создавая у животного или человека адекватную оборонительную реакцию. Следовательно, и в этом случае мы не можем представить себе весь процесс "привыкания" к раздражителю только на уровне уменьшения числа реагирующих элементов нервной системы. Характер этого уменьшения органически зависит от биологического характера всей ситуации, при которой наносится раздражение. Именно здесь очень трудно создать удовлетворительную "логику механизма", не учитывая характера врожденных реакций. Все реакции захватывания или избегания непременно связаны с непрерывным влиянием какой-то врожденной константной системы организма, и только с учетом этой системы мы можем создать удовлетворительную логическую структуру поведенческого акта.

Книга Эшби получила очень широкое распространение за рубежом, где она пользуется заслуженным успехом. Несомненно, этот успех объясняется тем необычным подходом к раскрытию логики физиологических реакций, которую проводит автор на протяжении всей книги. Книга бесспорно полезна и, несмотря на излишний в ряде случаев механицизм автора, помогает, как это ни странно, именно построению синтетической концепции приспособительных механизмов.

Так, например, детально разбирая как взаимоотношения ультрастабильных систем между собой, так и взаимоотношения подсистем в пределах каждой отдельной системы, Эшби устанавливает ряд правил, которые абсолютно необходимы для всякого исследователя, в особенности физиолога, желающего подняться до оценки места изучаемого явления в системе целого организма.

Здесь я не могу не отметить очень хорошего анализа соотношения "систем с частично постоянной функцией" и "систем с полной функцией". Рассматривая случаи "независимых состояний" в пределах большой системы, автор в сущности намечает канву для понимания организации сложных систем в пределах целого организма. При этом он неизбежно должен был столкнуться с тем, что своеобразие целого организма состоит именно в том, что его "частично постоянные функции" в зависимости от изменения ситуации могут приобретать характер зависимых и независимых функций. По сути дела, мы всегда убеждаемся в этом, изучая различные функции организма. Однако для этого

часто требуется отвлечься от реального процесса и посмотреть на функцию с точки зрения функциональной системы как интегративного образования (П.К.Анохин, 1935). Эту перемену формы участия отдельных систем особенно хорошо можно проиллюстрировать на примере роли афферентных импульсаций в конструировании какого-либо конечного приспособительного эффекта функциональной системы, например прыжка у лягушки. Этот прыжок есть следствие вполне определенного соотношения частей моторного аппарата, и конечный его эффект состоит в передвижении лягушки на определенное расстояние. Исходя из абсолютного значения афферентных функций, мы должны были бы признать, что во всех своеобразных движениях, например, задних конечностей лягушки афферентные импульсы играют решающую роль на протяжении всего прыжка. Однако, к большому удивлению экспериментатора, перерезка всех задних корешков одной задней конечности и даже обеих задних конечностей очень мало нарушает прыжок. Совершенно очевидно, что "независимость" местных рефлекторных актов в данном моторном акте трансформировалась в зависимости от более высоких стимулов и процессов в большой системе поведенческого акта. Однако эта зависимость функции задней конечности лягушки от более высокой интеграции может немедленно трансформироваться в независимую функцию, если только к одной из конечностей лягушки привязать перед прыжком грузик, требующий дополнительных усилий для совершения прыжка. В этом случае деафферентированная конечность уже не может принять полноценного участия в прыжке (М.Чепелюгина).

Можно привести также пример из области дыхательной функции. Как показали опыты К.Д.Груздева в нашей лаборатории, центральные аппараты системы дыхания получают огромное количество афферентных импульсаций от всех уровней иннервации дыхания и воздухоносных путей. От легких идут импульсации, вызванные растяжением альвеол, от плевры — импульсации, вызванные трением о грудную стенку, от трахеи и слизистой носа — импульсации, возникающие в результате раздражения трахеи и слизистой движущимся воздухом и т.п.

Исходя только из того, что эти рецепторы посылают в центральную нервную систему афферентные импульсы, мы должны были бы предположить, что они вносят свою долю в

интеграцию эффекторного комплекса дыхания. Однако оказалось, что это не так. Автоматизация дыхательного акта полностью устраняет влияние многих афферентаций, идущих, например, от трахеи, но они немедленно дают знать о себе, как только сила раздражения соответствующей области отклоняется от обычной, т.е. уменьшается или увеличивается. В таких случаях их роль в центральных интегративных образованиях сразу же становится заметнее, и в связи с этим формируется новая интеграция дыхательного акта.

Этот анализ поведения зависимой частной системы в обширной функции организма убеждает нас, что все соотношения и взаимодействия динамичны по своей природе и могут менять как долю своего участия, так и степень своего воздействия на целое.

В случае приведенных выше примеров приемы анализа, применяемые Эшби, исключительно ценны, так как он отправляется только от логических механизмов взаимодействия многочисленных систем, обладающих различными характеристиками.

Надо отдать должное Эшби, что именно в этой части книги он достиг некоторой виртуозности в отношении математически определенной характеристики изменения связи между системами и смены доминирующих потоков информации в пределах системы. Для физиолога, биолога и клинициста особенно важны в этом смысле его аналитические выкладки, касающиеся "логических механизмов" итеративных систем с повторными и поэтапными включениями в деятельность целого организма.

В этом конкретном случае автор затрагивает тот критический период развития жизни на Земле, который определил на протяжении многих тысячелетий приспособленность организма к внешнему миру. Эшби не вскрывает закономерностей, действовавших в этот период, но практически показывает те многочисленные вариации, которые вытекают из нерушимого закона пространственно-временных соотношений в неорганическом мире. Развитие всей материи происходит последовательно. Это последовательное движение материи коренным образом повлияло на всю эволюцию приспособительных форм живых организмов, но вопрос состоит в том, как эти воздействия складываются в последовательное развитие системной деятельности организма?

Эшби предлагает весьма вероятное решение этого вопроса, строя те логические схемы, которые лежат в основе работы мозга

и его приспособительных реакций в отношении внешнего мира. Эта часть книги читается с большим интересом.

Я не могу не отметить, что книга требует некоторого критического подхода, особенно там, где Эшби отказывается от необходимости прибегать в своих рассуждениях к врожденной деятельности и понятию подкрепления и отрицает необходимость привлекать функцию сознания к анализу некоторых сложных ситуаций.

Очень жаль также, что автор, давая определения саморегуляторных приспособлений (стр. 71), не привел наиболее полного и красочного определения саморегуляции, данного И.П.Павловым (1932).

Но вместе с тем четкая, почти математическая постановка вопроса, столь же строгий логический анализ взаимодействий и классификация явлений для различных уровней интеграции — все это несомненно ново, оригинально и принесет большую пользу читателю. Мне хотелось бы подчеркнуть, что эта польза особенно значительна для молодых исследователей, которые находятся в том периоде развития, когда начинает формироваться основная механика научного мышления. Им я особенно рекомендую прочитать книгу Эшби.

КИБЕРНЕТИКА И ИНТЕГРАТИВНАЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТЬ МОЗГА[1]

Соотношение кибернетики и нейрофизиологии выражается прежде всего в том, что кибернетика стремится наиболее полно и наиболее адекватно моделировать основные законы деятельности мозга.

Будучи сама производной от циклических замкнутых, т.е. автоматических саморегуляций в технических системах, кибернетика наложила определенный отпечаток и на подходы нейрофизиологов в изучении процессов целого мозга. Нейрофизиология широко использует в настоящее время формализацию процессов, преобразование информации в сложных системах, математическую обработку материалов исследования и т.д. Все эти заимствования из кибернетики стали в работе нейрофизиолога постоянными и необходимыми приемами для расшифровки регуляторных приспособлений целого организма.

В свою очередь, кибернетика постепенно совершенствует свои модели мозговой деятельности и этим самым позволяет использовать их в конструировании различного рода технических систем с повышающимся уровнем "интеллигентности", т.е. со свойствами, приближающимися к работе самого мозга.

Это взаимодействие совершенно определенно показало, что *успех воспроизведения мозговой деятельности в информационных моделях находится в прямой зависимости от того, в какой степени полно отражены в каждом отдельном случае моделирования истинные законы деятельности мозга, логически формализованные нейрофизиологами*. Иначе говоря, успех изучения процессов мозга и особенно реализация их в поведенческих актах зависит от того, в какой степени в этом встречном движении отражены истинные архитектурные черты работы целого мозга, синтезированные на основе последних достижений нейрофизиологии.

---

[1] Вопросы психологии, 1966, № 3, с. 10—32.

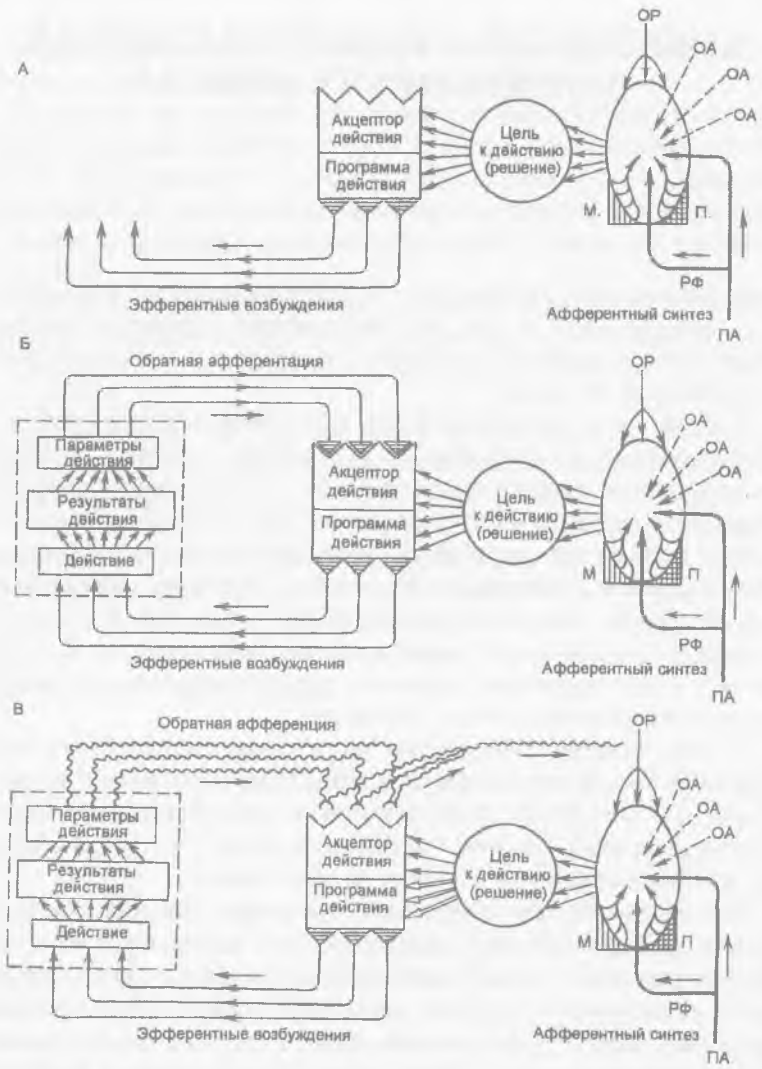


Рис. 1. Принципиальная схема модели поведенческого акта, представленная в трех этапах развития.

А — для понимания динамики нелинейных процессов функциональной системы показана стадия, когда закончился афферентный синтез (АС), произошло формирование цели и вслед за этим акцептора действия. Эфферентные возбуждения в этой стадии лишь вышли на афферентные периферические пути. Однако в этой стадии не получен полезный приспособительный результат.

В настоящее время стало очевидным, что успех такого контакта зависит от того, сможем ли мы создать столь адекватную логическую модель работы целого мозга, которая не только облегчила бы возможность производить прицельный анализ любого механизма любого поведенческого акта, как интегративного образования, но и помогла бы формулировать и новые исследовательские работы.

Такой подход к интегративной деятельности целого мозга показал, что она не может быть изучаема без оценки конечного приспособительного результата, в связи с которым происходит, как формирование, так и перестройка любой функциональной системы.

В этом смысле результаты исследований школы крупнейшего английского физиолога Шеррингтона дают возможность судить лишь *о частных механизмах* интегративной деятельности, поскольку они не отнесены к работе целого мозга и остаются независимыми от конечного приспособительного эффекта целого организма (П.К.Анохин, 1948).

Становится все более очевидным, что рабочие контакты нейрофизиологии и кибернетики поставили совершенно недвусмысленные требования построить такую нейрофизиологическую модель интегративной деятельности целого мозга, которая отвечала бы двум основным требованиям: а) она должна быть достаточно убедительно обоснована фактическими результатами современной нейрофизиологии и вместе с тем б) быть той большой кибернетической архитектурой, в которую вписываются все тонкие аналитические результаты, полученные при изучении любых частных механизмов мозга. Именно поэтому, прежде чем перейти к конкретным нейрофизиологическим механизм формирования поведенческого акта, нам нужно раскрыть состав самой архитек-

---

Б — дальнейшее развертывание процессов в системе, в связи с чем был получен конечный результат, соответствующий сходной цели действия. Видно, что результаты действия через свои параметры формируют обратную афферентацию, которая направляется в центральную нервную систему и вступает в контакт с акцептором действия. В — эта часть рисунка иллюстрирует момент несовпадения обратной афферентации с акцептором действия. На схеме видно, что это несовпадение немедленно активирует ориентировочно-исследовательскую реакцию, которая по своему значению является фактором, облегчающим образование новой программы действия.

Обозначения: ОР — ориентировочная реакция, ОА — обстановочная афферентация, ПА — пусковая афферентация, РФ — коллатерали ретикулярной формации, М — мотивация, П — память; объяснение см. в тексте.

туры поведенческого акта. Я уже имел однажды счастливый случай — на Международном симпозиуме по обработке информации в центральной нервной системе (Лейден, 1962) — предложить такую физиологическую архитектуру, которая, как нам кажется, отвечает поставленным выше требованиям и которая построена на основе нашей более ранней концепции *функциональной системы*, как саморегуляторной организации с обратной афферентацией (рис. 1).

Однако к настоящему времени моими сотрудниками получены многие новые результаты, которые позволяют еще глубже понять те универсальные механизмы, которые поддерживают в единстве все многочисленные компоненты функциональной системы на всем протяжении формирования конечного полезного эффекта. Интегративные механизмы в работе целого мозга, предлагаемые нами для объяснения структуры поведенческих актов, вступают в тесный контакт с принципами самоорганизации и моделирования работы мозга, разрабатывающимися в настоящее время в нейрокибернетике.

Описываемая ниже физиологическая архитектура интегративной деятельности целого мозга в настоящее время уже перерастает свое значение только как модели, *объясняющей* механизмы деятельности, и становится *методом* для формулировки новых исследовательских задач на уровне тончайших аналитических нейрофизиологических приемов. Эта модель упорядочивает многочисленные поиски в нейрофизиологических условиях и точно определяет то частное место, которое каждое из этих исследований занимает в большой архитектуре поведенческого акта.

Ниже мы последовательно разберем узловые механизмы этой физиологической архитектуры, пригодной для любого поведенческого акта и вместе с другими составляющей модель поведенческого акта.

1. СТАДИЯ АФФЕРЕНТНОГО СИНТЕЗА

Нейрофизиологический смысл этой стадии в формировании поведенческого акта состоит в том, что она позволяет тщательно обработать, сопоставить и синтезировать всю ту информацию, которая необходима организму для совершения наиболее адекватного для данных условий приспособительного акта.

Афферентный синтез является наиболее ответственным моментом интеграции, он является в полном смысле этого слова узловым механизмом функциональной системы. Он помогает решению трех основных параметров всякого поведенческого акта: *что* делать, *как* делать и *когда* делать?

Эти три параметра вписывают всякий данный поведенческий акт в гармоническую последовательность многих поведенческих актов и устанавливают то адаптивное отношение животного к внешнему миру, без которого невозможно было бы его выживание. Афферентный синтез позволяет животному с определенной точностью удовлетворять его непрерывно сменяющиеся потребности и приводить их в соответствие с бесконечно разнообразными воздействиями внешнего мира.

Сама необходимость учета невероятно большого количества переменных параметров, определяющих поведенческий акт, исторически сделала совершенно необходимым формирование стадии афферентного синтеза. Непременное наличие многочисленных афферентных воздействий на организм из внешнего мира сделало афферентный синтез универсальным фактором всякой жизни, поскольку последняя даже в самой примитивной форме должна устанавливать адекватные соотношения между своими потребностями и совокупностью последовательно развивающихся внешних воздействий.

Другим фактором, относящимся к характеристике роли афферентного синтеза, является то, что он непременно и всегда должен предшествовать принятию решения (dicision making).

Едва ли сейчас надо говорить о том, что момент "принятия решения" является физиологическим "рубиконом" в формировании поведенческого акта.

Как уже говорилось, афферентный синтез призван решить наиболее общие вопросы поведения: что делать, как делать и когда делать? Если вдуматься в эти три вопроса, связанные с принятием решения, то станет очевидным, что каждый из этих вопросов представляет собой фактор выбора, т.е. исключения избыточных степеней свободы, являющихся неизбежным следствием анатомической и физиологической композиции организма.

В самом деле, попытаемся проанализировать, какой смысл вложен в решение вопроса: что делать? В силу особенностей расположения и иннервации отдельных, часто весьма дробных

мышечных образований организм животных так сконструирован, что практически в каждый данный момент потенциально он может совершить миллионы возможных движений и, следовательно, миллионы моторных актов. Иллюстративно говоря, человек может указать пальцем на какой-то предмет, он может встать со стула, он может повернуть голову к окну и т.д. и т.п. Ясно, что таких индивидуализированных моторных актов он может произвести миллионы. Однако в данной ситуации, например, человек протягивает руку именно к карандашу и берет его.

Возникает естественный вопрос: на каком физиологическом основании к периферическим органам, т.е. к мышечным аппаратам, вышли возбуждения именно для этого моторного акта, а все остальные миллионы степеней свободы были исключены?

С другой стороны, тот же карандаш в ряду последовательных поведенческих актов данного человека должен быть взят именно в тот момент, когда он является следствием завершенного афферентного синтеза, переходящего в "принятие решения" — "взять карандаш". Если бы карандаш был взят значительно позднее того момента, когда должен был быть совершен акт письма, он не привел бы к положительному приспособительному эффекту. Следовательно, вопрос "когда"? также должен решаться адекватно в результате афферентного синтеза, т.е. в результате сопоставления и соподчинения всех действующих в данный момент афферентных сигналов из внешнего мира поставленной цели к действию. Совершенно очевидно, что это ограничение потенциальных степеней свободы и выбор вполне определенного по значению и по времени поведенческого акта является результатом учета основных потребностей организма на данный момент, допустимость или недопустимость осуществления этой потребности в данных условиях и т.д.

Из всех этих соображений следует, что с чисто нейрофизиологической точки зрения проблема формирования афферентного синтеза исключительно сложна и потому мы должны упорядочить обсуждение конкретного материала этой решающей стадии по следующим направлениям:

А. Состав афферентного синтеза и его тонкие нейрофизиологические и нейрохимические механизмы.

Б. Общая нейродинамика его осуществления.

Все, что говорилось выше, показало, что из всех узловых механизмов поведенческого акта наиболее ответственным и наиболее широким по охвату специфических свойств целого мозга является афферентный синтез. Именно отсюда же происходит и его значимость для поведения вообще, и его крайняя ранимость по отношению ко всякого рода воздействиям на организм. Мне думается, что именно эти характерные свойства афферентного синтеза заставили И.П.Павлова уже очень давно подчеркнуть, что афферентная сторона в деятельности центральной нервной системы является "так сказать, творческой", в то время как за эфферентной функцией он признавал только "техническую" роль.

Это определение весьма красочно и в то же время наиболее адекватно отражает роль стадии афферентного синтеза. Как мы уже говорили, она неизбежно заканчивается "принятием решения", но это и есть, в сущности, "творческий акт", поскольку на основании тысяч разнородных информаций принимается решение о выборе одного акта из миллионов возможных!

Бросается в глаза многообразие тех афферентных информаций, которые непременно должны быть обработаны, собраны и сопоставлены с прошлым опытом, прежде чем произойдет то критическое событие, которое получило выразительное название "принятия решения" (Бишоп, 1963; Т.Буллок, 1959).

Мы можем высказать, как нам кажется, вполне достоверное положение, что ни одно "принятие решения", насколько бы приспособительный акт ни был элементарным, не может произойти без предварительного афферентного синтеза. Вот почему определение его состава и анализ тончайших нейрофизиологических механизмов является самой актуальной задачей нейрофизиологии высшей нервной деятельности и учения о поведении и кибернетике.

Все это должно составить материальную основу для совместного разрешения пограничных проблем нейрофизиологии, высшей нервной деятельности и психологии (И.П.Павлов, И.С.Бериташвили, А.Н.Леонтьев, А.Р.Лурия и др.).

А. СОСТАВ СТАДИИ АФФЕРЕНТНОГО СИНТЕЗА

Каков же состав афферентного синтеза по качеству и количеству всех информаций, обработка которых должна повести к "принятию решения"?

Физиологический анализ методом условных рефлексов показывает, что в его состав входят следующие качественно различные компоненты:

а) доминирующая мотивация,
б) обстановочная афферентация,
в) пусковая афферентация,
г) память.

Только всесторонний объективный анализ всех составных компонентов стадии афферентного синтеза и их интегральных взаимодействий поможет нам понять, каким образом разнородные формы информации, имеющие различные по сложности структуры и качественно различное значение для организма, могут иногда в высшей степени быстро интегрироваться, сопоставляться друг с другом, оценить сложившуюся в данный момент ситуацию и принять именно то решение, которое является наиболее адекватным для всей ситуации в целом. Ниже и будет более подробно разобрана физиологическая роль перечисленных выше составных компонентов афферентного синтеза.

а) Доминирующая мотивация

Состояние доминирующей мотивации может быть создано или на основе исходных гормональных и метаболических превращений организма, или на основе прежней последовательности в поведенческих актах. Примером первого типа мотиваций может служить чувство голода, примером второго типа мотиваций может служить, например, стремление поступить в высшее учебное заведение, коллекционировать какие-либо предметы и другие, "основные влечения", по Павлову. И та и другая мотивации, являясь доминантными, обладают способностью обрабатывать поступающую в мозг информацию в соответствии со своим энергетическим потенциалом. Конечно, второй вид мотивации для своего формирования требует более длительного собирания и обработки огромного количества информации, часто получавшейся на протяжении большого периода времени, однако принципиальные архитектурные черты этой стадии для того или другого случая одинаковы. Какие физиологические механизмы начинают и реализуют в коре больших полушарий доминирующую мотивацию? Специальные электрофизиологические экспе-

рименты, проведенные в нашей лаборатории К.В.Судаковым и другими сотрудниками на голодающих животных, показали, что мотивация, т.е. господствующее в данный момент состояние, весьма интересно действует на кору головного мозга. Восходящие возбуждения биологически различных мотиваций избирательно мобилизуют в коре головного мозга именно те синаптические организации, которые в процессе прошлого жизненного опыта животного или человека были связаны с удовлетворением такого же состояния. Благодаря такому избирательному распространению возбуждений по коре больших полушарий создаются энергетические условия для занятия превалирующего в функциональном отношении положения теми корковыми ассоциациями, которые в прошлом способствовали возникновению и удовлетворению имеющейся в данный момент потребности.

В сущности, этот факт усиленного возбуждения через синапсы корковых клеток, принадлежащих определенной биологической деятельности, и составляет основу для исключения той избыточной информации, которая в каждый данный момент в огромном количестве поступает в ц.н.с., т.е. главным образом в кору головного мозга.

Информация начинает подбираться и как бы "взвешиваться" на весах этого господствующего или доминирующего мотивационного состояния, своеобразно представленного почти на каждом корковом нейроне.

Легко видеть, что уже одно наличие доминирующей мотивации значительно облегчает организму "принятие решения". Сразу же на уровне первых синаптических организаций подкорки происходит "оттеснение" с помощью тормозного процесса всей той информации, которая не имеет конструктивной функциональной связи ни в прошлом опыте, ни в наличной ситуации с той мотивацией, которая занимает в данный момент организм (рис. 2).

Перед нами встал естественный вопрос: какими средствами каждая мотивация, имеющая определенную биологическую модальность, может осуществить свое столь избирательное влияние на синаптические организации коркового уровня? Применив метод аппликации и внутривенной инъекции различных нейрофармакологических и нейрохимических средств, мы раскрыли весьма интересные интимные механизмы той избирательности, с помощью которой различные восходящие влияния оккупируют

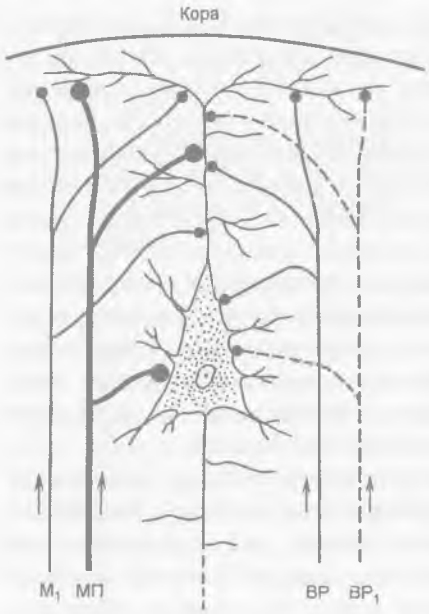


Рис. 2. Схематическое изображение конвергентных взаимодействий различных восходящих возбуждений на корковом нейроне.

На схеме показано, что превалирующая мотивация (МП), приходящая в кору головного мозга, занимает превалирующее положение по отношению ко всем другим мотивациям, лишенным актуального значения для данного момента (M_1).
Внешние раздражения (ВР) подразделяются по отношению к этой доминирующей мотивации в том, что одни из них вступают в контакт с доминирующей мотивацией ($ВР_1$), другие же не имеют отношения к этой мотивации и потому не вступают в связь с ней в аксоплазме нервной клетки.

корковый уровень нервной организации. Оказалось, что различные биологические модальности восходящих возбуждений оперируют синапсами различной нейрохимической природы, что и составляет, вероятно, инструмент первичного избирательного распространения возбуждений по коре больших полушарий. Мы были удивлены разнообразием и спецификой тех механизмов, с помощью которых осуществляется избирательное воздействие на кору больших полушарий со стороны подкорковых восходящих возбуждений.

Так, например, кошка, голодавшая всего один-два дня, имеет заметную десинхронизацию корковой электрической активности по преимуществу передних отделов коры головного мозга.

В это же время остальные области коры находятся в состоянии обычной характерной для сна медленной фоновой активности (рис. 3, А). Контрольными экспериментами (коагуляция, поляризация и т.д.) было установлено, что источником этой восходящей активации является гипоталамус (К.В.Судаков). Однако после пяти дней голодания картина радикально меняется: теперь уже вся кора больших полушарий оказывается в состоянии десинхронизации (рис. 3, Б).

Казалось бы, естественным думать, что эта генерализованная десинхронизация является результатом широкой иррадиации по коре мозга возбуждений той же пищевой биологической модальности и распространяется из того же подкоркового источника, т.е. из гипоталамуса. Однако оказалось, что это не так, хотя сама десинхронизация по своему внешнему выражению и остается одинаковой. Прямые исследования показали различную нейрохимическую природу подкорковых и корковых синаптических организаций, включенных в формирование этих двух активаций. Зная на основе прежних наших исследований (А.И.Шумилина, В.Гавличек), что аминазин блокирует на подкорковом уровне болевую активацию, мы решили применить его в той стадии голодания кошки, когда локальная активация передних отделов мозга перерастает в генерализованную активацию всей коры мозга. Результат оказался весьма демонстративным. Хлорпромазин полностью снял активацию пятидневного голодания,

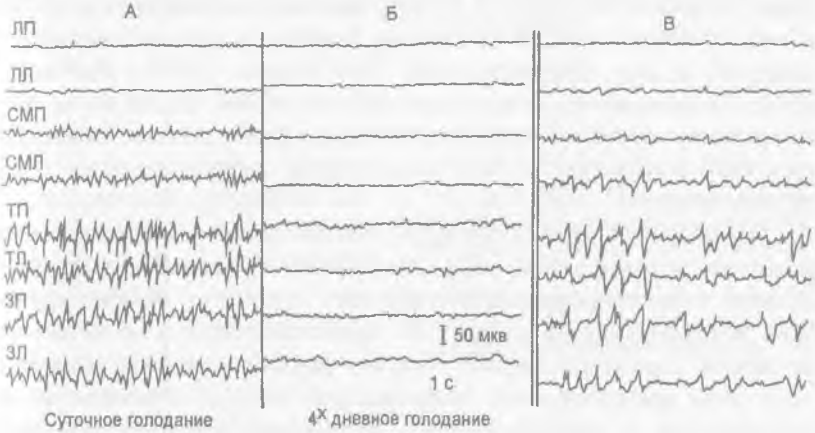


Рис. 3. Сопоставление односуточного и четырехсуточного голодания кошки (А, Б).

Видно, что при односуточном голодании активация возникает только в лобных отделах коры мозга (А), при четырехсуточном голодании активация становится генерализованной по всей коре головного мозга (Б). Применение в этих условиях аминазина снимает десинхронизацию в задних отделах коры больших полушарий, но оставляет ее по-прежнему в передних отделах мозга (В). Обозначения: ЛП — лобная правая, ЛЛ — лобная левая, СМП — сенсомоторная правая, СМЛ — сенсомоторная левая, ТП — теменная правая, ТЛ — теменная левая, ЗП — затылочная правая, ЗЛ —затылочная левая.

т.е. в задних отделах коры мозга, но *оставил нетронутой локальную активацию в передних отделах мозга, т.е. первичную активацию, возникающую в начале голодания* (рис. 3,В).

Кроме того, прямое наложение амизила (М-холинолитика) на область первичной активации показало, что эта активация осуществляется с помощью холинергических механизмов (А.Туренко, 1965).

После этих экспериментов стало ясно, что начальные стадии голодания формируются преимущественно мобилизацией холинергических механизмов коры и подкорки, в то время как при многодневном голодании активирующая деятельность, т.е. формирование мотивированного поведения, начинает осуществляться по преимуществу адренергическими механизмами.

Интересно, что микроэлектродные исследования с нанесением различных фармакологических средств на поверхность коры больших полушарий показали, что даже *одна и та же клетка коры больших полушарий* может получать восходящие влияния в виде конвергенции от различных биологических мотиваций: от пищевой и от оборонительной (Ю.Фадеев, 1965; А.Котов, 1965). Какая замечательная способность мозга оперировать динамически, включая все то, что в той или иной степени адекватно наличной мотивации, и исключая всю ту информацию, которая ей неадекватна!

Возникает вопрос: с помощью каких конкретных механизмов реализуется эта замечательная способность корковой клетки принимать и классифицировать огромное количество конвергирующих возбуждений, различных по происхождению и по нейрохимическим характеристикам? Как мы видели, узловым механизмом этой избирательной мобилизации корковых элементов в соответствии с господствующей мотивацией является широкая конвергенция возбуждений на нейроне.

Чтобы ближе подойти к этому важному механизму, мы разработали специальный прием исследования. Замысел этих исследований был таков: *если с одного и того же пункта коры* мозга снимать электрические вызванные ответы, то мы, несомненно, будем иметь дело с каким-то количеством клеток, принимающих на себя различные возбуждения. Эти различия могут состоять как в сенсорной модальности (Юнг, Фессар и др.), так и в биологической модальности (П.К.Анохин,

Ю.А.Фадеев, 1965). Из конструкции экспериментов следует, что мы получили возможность сопоставить между собой как вызванные потенциалы, так и клеточные разряды, возникающие в одном и том же пункте в ответ на раздражения различного качества и различного происхождения. Кроме того, замысел состоял в том, что именно в этих условиях мы должны были апплицировать на поверхности коры в пункте отведения различные фармакологические средства.

Сопоставляя теперь влияние этих средств на различные компоненты вызванного потенциала и на разряды нервных клеток, мы могли, следовательно, сделать вывод о химической специфике синаптических образований и в особенности — субсинаптических мембран.

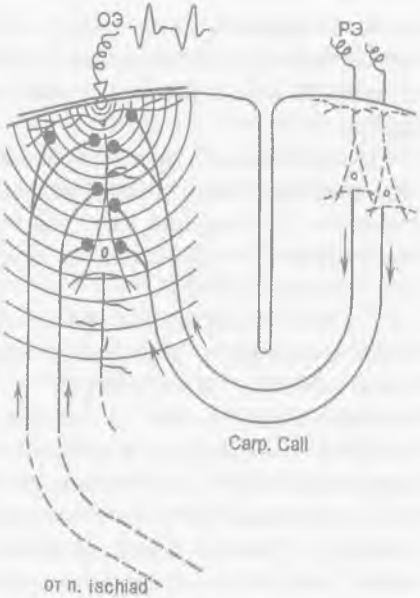


Рис. 4. Общая схема расположения раздражающих и отводящих электродов при отведении потенциалов различного происхождения (см. в тексте).

Обозначения: ОЭ — отводящий электрод, РЭ — раздражающий электрод. Черная линия под отводящим электродом соответствует наложению бумажки, смоченной фармакологическим веществом, концентрические круги обозначают предположительное распространение вещества.

Например, с одного и того же пункта коры мы отводили одновременно вызванные потенциалы нескольких типов: трансколлазального происхождения, от седалищного нерва и от других областей мозга и организма (рис. 4). Обычно потенциалы были характерны для каждого отдельного источника. Наложение различных фармакологических средств на пункт отведения различных вызванных потенциалов и разрядов клеток дало возможность выяснить, что, независимо от одного и того же электрического знака компонентов вызванного потенциала, они менялись по-разному при различных аппликациях. Внимательное изучение

этих изменений показало, что они связаны только лишь с химическими особенностями апплицированного вещества, а не с электрической характеристикой компонентов вызванного потенциала.

Выявилось огромное различие в химической чувствительности по внешнему виду одинаковых отрицательных компонентов вызванного потенциала, но возникших на основе возбуждений, пришедших из различных районов тела и нервной системы (Л.Чуппина, 1965).

Таким образом, заключая оценку мотивации, как фактора, способствующего ускорению афферентного синтеза, благодаря сопоставлению поступающей в мозг информации и быстрому освобождению мозга от избыточной информации, мы можем сказать, что аппараты и механизмы, которые способствуют этому процессу, имеют всеобъемлющее значение. Они относятся как к архитектурным особенностям нервной системы, так и к ее различиям в тонких метаболических процессах, что и определяет собой тонкую избирательную чувствительность корковых синапсов к приходу различных восходящих возбуждений. Благодаря этим свойствам при конвергенции многих возбуждений на нейроне сразу же отметается от активного участия в интегративной деятельности вся та информация, которая не является значимой для данной мотивирующей доминанты (см. рис. 1).

Несомненно, на этом исследовательском пути, который только еще наметился в нашей лаборатории, можно получить бесконечное количество интереснейших результатов, относящихся к характеристике места и роли мотивационных возбуждений в осуществлении афферентного синтеза.

б) Обстановочная афферентация

Под обстановочной афферентацией мы понимаем совокупность всех тех внешних воздействий на организм от данной обстановки, которые вместе с исходной мотивацией наиболее полно информируют организм о выборе того действия, которое более всего соответствует наличной в данной момент мотивации. Физиологическая роль и поведенческий смысл обстановочной афферентации состоит в том, что она прежде всего, благодаря свойственному ей относительному постоянству действия, создает

в центральной нервной системе весьма разветвленную и интегрированную систему возбуждений, своего рода *нервную модель обстановки*. Оставаясь длительное время подпороговыми, эти системы от применения "пускового стимула" (см. ниже) *могут перейти из скрытого состояния в явное, т.е. сформировать поведенческий акт, интегрирующий интересы мотивации и возможности обстановки.*

Значение обстановки как особого типа афферентной информации особенно отчетливо проявляется в классическом эксперименте по условным рефлексам. Здесь животное, находясь много раз в обычной для него обстановке эксперимента, фактически оказывается полностью подготовленным к секреторной реакции, т.е. имеет все центральные процессы для осуществления ее. Однако по нашему опыту мы знаем, что условной секреторной реакции у животного в промежутках между раздражениями не бывает до тех пор, пока не будет введен условный стимул. Таким образом, в момент, когда животное спокойно сидит в станке в промежутке между применениями отдельных условных раздражителей, в его нервной системе имеется комплекс разнородных организованных ранее возбуждений, который мы в свое время назвали "предпусковой интеграцией" (П.К.Анохин, 1949). Применение же условного стимула выводит эту интеграцию из подпорогового состояния и формирует активный поведенческий акт. Какие же факторы устанавливают такую гармонию между процессами, определяющими "что делать", и процессами — "как делать?".

Специальные опыты А.И.Шумилиной, проведенные в нашей лаборатории, показали, что действительно в моменты покоя животного между применениями условных раздражителей происходит сложное уравновешивание обстановочных и пусковых возбуждений, создающих строгое распределение во времени отдельных фрагментов поведенческого акта (стояние в станке, побежки к кормушке и условносекреторная реакция в ответ на пусковой стимул).

Как известно, удаление лобных отделов коры мозга приводило животное к такой форме реакций, которая свидетельствовала о нарушении различия между обстановочными и пусковыми стимулами: животное уже теперь не сидело спокойно в станке, а попеременно бегало то к одной, то к другой кормушке, явно

потеряв правильный распорядок между этими двумя формами афферентных сигнализаций.

В прежнее время имело место заметное преувеличение роли условного раздражителя в условном рефлексе. Считалось само собой разумеющимся, что условный раздражитель является абсолютным и единственным поводом к возникновению условной секреции. Теперь, с раскрытием закономерности динамического стереотипа (И.Павлов), становится все более и более ясным, что *видимая* условная реакция является результатом обширного афферентного синтеза, в который включаются в различной последовательности как внутренние, так и внешние факторы. Из сопоставления и разбора предыдущих компонентов вытекает и роль третьего компонента афферентного синтеза, именно пусковой афферентации.

в) Пусковая афферентация

Характерной чертой пускового стимула является то, что он точно приурочивает к определенному моменту переход того интегрированного нервного образования, которое уже сложилось в мозгу до пускового стимула на основе мотивационных и обстановочных афферентаций.

Если доминирующая мотивация определяет собой, что *именно должен делать* организм, а обстановочная афферентация определяет, *как он должен делать* в данной ситуации, то пусковой стимул определяет третий важный параметр поведенческого акта: *когда надо делать то*, что подсказано и мотивацией, и обстановкой. Какими конкретными физиологическими механизмами пусковой стимул переводит "скрытую" интеграцию поведенческого акта в видимую, реализованную форму? Где локализовано это сближение возбуждений от пускового стимула с подпороговой моделью возбуждений, созданных мотивацией и обстановкой, — все это вопросы, которые должны неизбежно стать предметом исследовательской работы, поскольку сам процесс афферентного синтеза стал очевидной решающей стадией в формировании поведенческого акта.

Казалось бы, что афферентный синтез мог бы быть полностью обеспечен разобранными выше компонентами и вся структура поведенческого акта могла бы быть введена в действие. Однако практически ни один поведенческий акт не может быть

сформирован, если из *памяти* организма, т.е. из его прошлого опыта, не будут извлечены все те молекулярные следы, условнорефлекторные связи и ассоциации, которые накапливались на протяжении всей предыдущей жизни организма, в аналогичных или близких ситуациях.

Именно потому, что из памяти во время афферентного синтеза непрерывно извлекается все то, что соответствует мотивации и обстановке, мы и посвятим ей специальный раздел.

г) Память, как компонент афферентного синтеза

Едва ли было бы разумным развивать в связи с проблемой афферентного синтеза все те представления о природе памяти, которые были развиты в последние годы (Hyden, McConell, Gaito и др.). Сейчас нам важны механизмы памяти только в той мере, в какой они обогащают возможности афферентного синтеза и принятие решения к совершению одного из миллионов возможных поведенческих актов. В последние годы, основываясь на данных нейрохимического исследования (см. выше), мы построили рабочую гипотезу о так называемом конвергентном замыкании условного рефлекса. Ядром этой гипотезы является процесс субсинаптической мембраны, который, по-видимому, и является тем отправным пунктом, на основе которого извлекаются из молекул нервной клетки элементы фиксированного в прошлом жизненного опыта.

Как известно, вся проблема памяти состоит из момента *запоминания* пережитого данной физиологической системой и момента извлечения этого фиксированного жизненного опыта, т.е. *воспоминания*.

Если в настоящее время мы в какой-то степени и можем составить себе представление, хотя бы и гипотетическое, о процессе фиксации пережитого опыта, то, по сути дела, мы ничего не можем сказать о том, как формируется *воспоминание*, т.е. по каким механизмам происходит *извлечение фиксированного опыта именно в тот момент и в той мере, в какой он способствует принятию решения, являющегося наиболее адекватным для данной ситуации.*

Исходя из представлений о молекулярной фиксации пережитого опыта, мы можем представить себе, что *цепи химических реакций, возникающие на субсинаптической мембране, продол-*

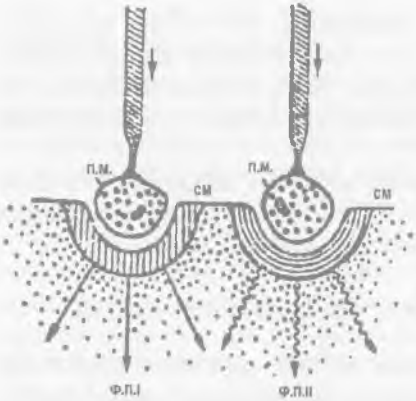


Рис. 5. Схематическое изображение двух синапсов на мембране одной и той же клетки с различными субсинаптическими мембранами (СМ).

Окончания приходящих аксонов образуют концевые колбы, заполненные везикулами и окруженные пресинаптической мембраной (ПМ). Точками показана область аксоплазмы данного нейрона, а различными стрелками показаны начинающиеся от субсинаптической мембраны цепи специфических ферментативных процессов (ФПI, ФПII). Объяснения см. в тексте.

жаются и в аксоплазму. Здесь они должны обладать высокой ферментативной специфичностью. Нам кажется, что именно по этой ферментативной цепочке, начинающейся от субсинаптической мембраны, впечатления прошлого могут "вытягиваться" в точном соответствии с потребностями афферентного синтеза в данный момент. Только химическая специфика ферментативных процессов может объяснить нам ту скорость, точность и своевременность воспроизведения, которая является характерной для часто неосознанных извлечений из памяти в процессе формирования поведенческого акта (рис. 5).

Мы считаем вполне разумным допустить, что на каком-то этапе этих процессов между субсинаптической мембраной и генератором аксонных разрядов клетки в процесс могут включаться и нуклеиновые кислоты (Hyden).

Надо представить себе на минутку все динамическое многообразие процессов, описанных выше, чтобы понять, насколько грандиозным является объем процессов, вовлеченных в этот синтез. Как мы видели, в него входят не только проблемы соотношения различных типов афферентных воздействий на нервную систему, но и глубинные процессы формирования наших влечений и мотиваций, и даже процессы памяти, которые сами по себе являются необъятной проблемой. Мы должны лишь не забывать, что память и извлечение из памяти *могут быть нам интересными только* в том смысле, что они помогают в каждый данный момент построить целесообразное поведение.

Б. ОБЩАЯ ДИНАМИКА ОСУЩЕСТВЛЕНИЯ АФФЕРЕНТНОГО СИНТЕЗА

Сложность афферентного синтеза состоит не только в том, что он содержит огромное количество процессов и компонентов, но еще и в том, как эти компоненты взаимодействуют между собой. Все они в полном смысле этого слова производят непрерывную "примерку" одного процесса к другим до тех пор, пока не сформируется решение и не сложится афферентная модель ожидаемых результатов. Иначе говоря, на первый план выступает проблема нейродинамики взаимодействий между многочисленными процессами афферентного синтеза и, что особенно важно, активная "подгонка" этих процессов к моменту принятия решения. Всю эту работу мозга выполняют два важнейших фактора, способствующих облегчению взаимодействий между даже весьма удаленными нервными элементами мозга. Эти факторы следующие: ориентировочно-исследовательская реакция и центробежное активирующее и тормозящее влияние как на промежуточные этапы, так и на чувствительность периферических рецепторных аппаратов (Р.М.Мещерский, 1966).

Первый из этих факторов состоит в том, что восходящее активирующее влияние на кору больших полушарий от гипоталамуса и ретикулярной формации фактически не устраняется на протяжении всего процесса афферентного синтеза. Следовательно, корковые нейроны приобретают состояние, значительно облегчающее "нащупывание" благоприятных связей между различными, адекватными для данной мотивации синаптическими организациями. Фактически та избирательная мобилизация корковых синаптических связей, о которой мы говорили в разделе мотивации, оказывается в условиях ориентировочно-исследовательской реакции значительно более обширной, и, следовательно, вероятность принятия правильного решения становится максимальной.

Афферентный синтез является взаимодействием разобранных выше его компонентов, но взаимодействием, происходящим на высоком уровне энергетической активности коры мозга, поддерживаемой гипоталамусом и ретикулярной формацией в форме непрерывной реверберации.

Как показали работы Эрнандес Пеона и Левинстона, процесс активирования периферических рецепторов также благоприятст-

вует осуществлению оценки внешней информации. По работам Гранита, Линдсли и других, центробежное влияние на рецептор приводит к тому, что порог их чувствительности снижается, а восходящая активация способствует тому, что коэффициент дискриминации раздражений, приходящих в кору мозга, также значительно увеличивается.

Эта общая характеристика нейродинамических ситуаций, складывающихся во время афферентного синтеза, совершенно полно определяет роль ориентировочно-исследовательской реакции и центробежной активации рецепторов в процессе афферентного синтеза. Однако для объяснения несомненно остается еще огромное количество вопросов.

Так, например, восходящая активация, сопутствующая ориентировочно-исследовательской реакции, несомненно способствует извлечению элементов прошлого опыта из кладовых памяти. Но как она это делает? Какие тонкие молекулярные процессы разыгрываются на подступах к этим кладовым?

Мы имеем, правда, основание думать, что субсинаптические мембраны, через которые возбуждение ориентировочной реакции поступает в нервную клетку, имеют свои особенности, химическую специфику. Может быть, эта специфика и состоит в том, что процесс, начинающийся на субсинаптической мембране, приводит к ускорению всякого рода ферментативных реакций в аксоплазме нервной клетки? Может быть, эта новая химическая ситуация на мембране нервной клетки и в аксоплазме клетки и представляет собой ту благоприятную ситуацию, которая способствует наиболее быстрому и наиболее правильному с вероятностной точки зрения контакту между различными типами информации (см. рис. 5).

Все это пока еще далеко идущие гипотезы. Однако гипотезы, уже не столь невероятные, как это могло бы показаться, например, десять лет тому назад, т.е. до периода весьма быстрого расширения наших знаний по нейродинамике и нейрохимии синаптических процессов.

2. ФОРМИРОВАНИЕ ДЕЙСТВИЯ И АППАРАТА ПРЕДСКАЗАНИЯ

Афферентный синтез неизбежно приводит к принятию решения, т.е. к выбору вполне определенной деятельности из милли-

онов возможных. Ясно, что этот процесс выбора знаменует собой начало избирательного распространения возбуждений по эфферентной части нервной системы. Как осуществляется это принятие решения и выбор адекватной деятельности — это составляет один из самых интригующих вопросов для нейрофизиологии поведения.

Несомненно одно, что в процессе осуществления афферентного синтеза непременно должен наступить момент, когда по каким-то признакам мозг определяет, что *афферентный синтез должен быть закончен и должно быть принято соответствующее решение*. Можно думать, что определение этого момента происходит благодаря широчайшей конвергенции возбуждений на корковых нейронах и всестороннему сопоставлению на их поверхности афферентных возбуждений различного происхождения.

Можно согласиться с Бишопом, что в момент принятия решения все процессы мозга должны быть как-то особенно сконденсированы во времени и пространстве (Бишоп, 1963). Точно так же утверждает и Т.Буллок, который в одной из своих работ уделил специальное внимание проблеме принятия решения (Буллок, 1959).

Как и где происходит этот наиболее интегрированный процесс формирования поведенческого акта? Ответа на эти вопросы мы пока не имеем, да и сами эти вопросы поставлены только в последние годы, причем в значительной степени под влиянием кибернетики. Однако уже сам факт, что вопрос поставлен в четкой форме, представляет собой огромное достижение в изучении интегративной деятельности головного мозга.

Опыты А.И.Шумилиной с удалением лобных отделов мозга в какой-то степени подсказывают мысль, что наиболее интегрированным и экономным процессом при осуществлении выбора является процесс, формируемый лобными отделами коры головного мозга, в которых в какой-то форме должны быть представлены результаты афферентного синтеза.

Значительно более определенно мы можем сказать относительно формирования весьма важной стадии, которая завершается построением модели афферентных элементов, в целом составляющих наиболее важные параметры *будущих* результатов действия. Как показывает анализ поведенческих реакций и любой физиологической регуляции, этот аппарат, названный

нами *акцептором действия*, т.е. воспринимающим информацию о результатах действия, является важнейшим образованием, которое упорядочивает и коррегирует недостаточность поведенческих актов животных и человека.

Прямые наблюдения за обычной условной пищевой реакцией в случае *внезапной* подмены хлеба мясом дали возможность вскрыть, что условный раздражитель в совокупности с остальными компонентами афферентного синтеза действительно формирует афферентную модель, которая по своему составу весьма точно отражает характерные признаки будущего подкрепления. Именно поэтому внезапная подмена хлеба, для которого уже заготовлена афферентная модель, другим пищевым веществом — мясом создает своеобразное "рассогласование" между заранее сформированными признаками результата (подкрепление хлебом) и реальной совокупностью афферентных признаков от подкрепления мясом (Анохин П. и Стреж К., 1933).

Подобные эксперименты с экстренной подменой или устранением подкрепляющих факторов в других формах эксперимента, например в условиях самораздражения, по Олдсу, неизменно показывают один и тот же результат. В этом последнем случае новая совокупность афферентных признаков от нового результата (выключение раздражающего тока) оказывается неадекватной для уже ранее сформировавшейся модели аппарата предсказания, подсказанной афферентным синтезом.

Для понимания функций аппарата акцептора действия важно помнить, что механизм его формирования является универсальным. Он имеет место в нервной системе всюду там, где сложившаяся функциональная система обеспечивает выход на периферию командных процессов и происходит получение какого-либо приспособительного эффекта. В этом смысле даже такой автоматизированный акт, каким является дыхательный акт, формируется с несомненным участием акцептора действия, хотя физиологическая архитектура здесь, конечно, своеобразная.

Так, например, было установлено, что, прежде чем на периферии осуществится команда дыхательного центра о взятии четырехсот кубиков воздуха (1,5 — 2,0″), формируется афферентный аппарат, задачей которого является последующий прием информации от легкого о том, взято ли действительно четыреста кубиков, или команда выполнена неточно (рис. 6).

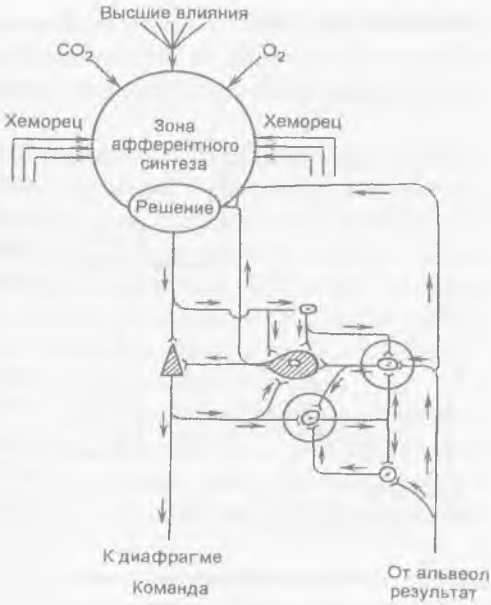


Рис. 6. Синтетическая схема, представляющая все узловые механизмы функциональной системы применительно к дыхательному акту.

На рисунке представлены афферентный синтез, принятие решения и выход эфферентных возбуждений к диафрагме. В центре коллатеральных механизмов представлен механизм длительно задержанного возбуждения, к которому адресуется обратная афферентация от альвеол легкого. Эта система отношений может служить универсальной моделью для формирования акцептора действия.

Эти представления были подтверждены в нашей лаборатории с помощью специального электронного устройства (В.А.Полянцев, 1963). Импульсации диафрагмального нерва преобразовывались в электронном устройстве и направлялись к прибору искусственного дыхания, а этот прибор вводил в легкое воздуха ровно столько, сколько должны были дать импульсации, направляющиеся от дыхательного центра к диафрагме.

Такие приспособления способствовали созданию модели самоуправляемого дыхания, благодаря которому легкое с помощью прибора искусственного дыхания всегда получало воздуха столько, сколько этого требовалось по условиям афферентного синтеза, т.е. при учете всех важнейших факторов дыхания (рис. 7) — наличия CO_2 и O_2, периферической хеморецепторной афферентации и т.д.

Изменяя в электронном устройстве передачу информаций на дыхательный аппарат, мы могли в любой момент ввести в легкое столько воздуха, сколько это было необходимо по соображениям эксперимента, а не по тому, сколько это нужно было организму. Так, например, вместо трехсот кубиков, которые были закоди-

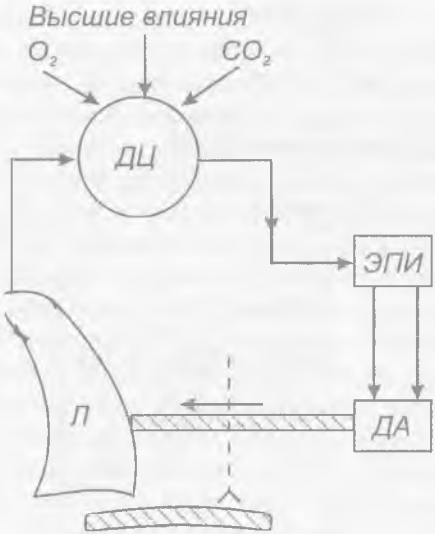


Рис. 7. Схема вмешательства с помощью электронного преобразователя импульсов (ЭПИ) и дыхательного аппарата (ДА) в работу легкого.

Объяснения см. в тексте.

рованы в импульсациях дыхательного центра, в эксперименте было введено в легкое всего лишь 100 кубиков. Альвеолярные рецепторы легкого в этих условиях могли сигнализировать в дыхательный центр информацию, эквивалентную взятию легкими ста кубиков воздуха. Итак, в результате приведенных выше экспериментов в дыхательном центре создаются условия явного несовпадения между тем, что было подсказано командой, и тем результатом, который получен в действительности. Налицо рассогласование, которое и служит стимулом для формирования нового компенсаторного действия, в результате чего при следующем вдохе происходит взятие легкими значительно большего количества воздуха.

В этом и подобных экспериментах нами много раз было показано, что всякому принятию решения к получению каких-то результатов неизбежно сопутствует формирование акцептора действия, который по своей физиологической сути есть разветвленная система нервных процессов в афферентной части мозга, отражающая все существенные признаки (параметры) будущих результатов.

Я не могу вдаваться сейчас во все подробности формирования и состава этого аппарата. Несомненно, в его состав входят не только афферентные признаки *конечных результатов*, которые отражают цель данного поведенческого акта, но и все те промежуточные этапы в совершении поведенческого акта, которые лежат, так сказать, по дороге к достижению цели.

И здесь также каждое несоответствие какого-либо промежуточного результата и его обратной афферентации *с уже сфор-*

мировавшимся акцептором действия ведет к исправлению этой неточности или ошибки. Фактически именно этот механизм делает наши действия и все поведение в целом гармоничным и целесообразным.

В последние годы, воспользовавшись особенной простотой и моделируемостью дыхательной функции, мы попытались с помощью микроэлектродного метода охарактеризовать те процессы дыхательного центра, которые способствуют образованию аппарата предсказания предстоящих результатов действия. Из сопоставления деятельности отдельных нейронов дыхательного центра можно вывести пока еще лишь предварительное соображение о том, каким образом формируется акцептор действия.

Несомненно то, что в тот момент, когда формируется "принятие решения" и оно начинает реализоваться, на эфферентных коллатеральных путях аксона происходит ответвление эфферентных возбуждений, составляющих в целом своеобразную "копию команды" к действию.

Этот комплекс *коллатеральных* эфферентных возбуждений в контакте с некоторыми процессами афферентного синтеза и составляет первоначальное ядро акцептора действия.

Это ядро должно находиться в непрерывном возбуждении до тех пор, пока с периферии поступят сигналы о получении результатов.

Конкретные микрофизиологические исследования показывают, что в дыхательном центре имеются весьма разнообразные типы клеток, и некоторые из них по своей деятельности вполне соответствуют этой логике процесса.

Эти исследования дают основание сказать, что в настоящее время проблема *предсказания результатов* может быть поставлена на уровень точнейших нейрофизиологических исследований.

Мне кажется, что конкретным нервным субстратом, с помощью которого осуществляется передача в акцептор действия, "копии команды", являются многочисленные аксонные коллатерали, особенно у корковых нейронов.

Хотя образование акцептора действия и представляет собой узловой механизм поведенческого акта, однако он является не единственным механизмом, формирующим закрытый циклический процесс в конце поведенческого акта. Одним из самых принципиальных вопросов построения универсальной модели по-

веденческого акта является получение полезных результатов, которые по своим параметрам должны удовлетворять как афферентный синтез, так и принятое решение.

3. РЕЗУЛЬТАТЫ ДЕЙСТВИЯ КАК САМОСТОЯТЕЛЬНАЯ ФИЗИОЛОГИЧЕСКАЯ КАТЕГОРИЯ

Пожалуй, одним из самых драматических моментов в истории изучения мозга, как интегративного образования, является *фиксация внимания на самом действии, а не на его результатах.*

Так, например, мы говорим: "чесательный рефлекс", "хватательный рефлекс", "мигательный рефлекс" и т.д. Что отражено в этих выражениях? В них, как правило, отражено только рефлекторное действие и даже нет намека на результаты. Термин "чесательный рефлекс" означает только, что *произошло чесание*, но он совершенно не отражает, какие результаты были получены вслед за этим чесанием. Точно так же "хватательный рефлекс" отражает только то, что *произошло хватание*, но какие результаты получил организм от этого, остается не отраженным. Можно перебрать всю терминологию, созданную рефлекторной теорией, и можно убедиться, что результаты действия были полностью исключены из привычного мышления физиолога.

Конечно, этот факт составляет огромный дефект самой методологии изучения интегративной деятельности целого мозга, если принять во внимание, что именно результаты действия являются тем, что составляет конечную цель в последовательно развивающемся поведении животных и человека.

Для мышления, в течение многих лет останавливавшегося перед этой преградой, не так просто сделать *результат действия* полноправным звеном в развитии рефлекторного акта. Именно поэтому еще и до сих пор есть много исследователей, которые ограничиваются представлением о рефлекторной дуге. Однако в этом случае, естественно, исключается и механизм афферентного синтеза, и аппарат предсказания результатов (акцептор действия), поскольку в рефлекторной дуге все течение нервных процессов имеет *линейный характер.*

Здесь было бы очень уместным отметить, что этот дефект отрыва действия от результатов является дефектом не только

рефлекторной теории, он распространен гораздо шире, и проникает даже в философию.

Так, например, Bunge в своей весьме интересной монографии "Causality, the place of the causal principle in modern science" (Harvard University Press, Cambridge, Massachusets, 1959) пишет: "Смешение причины с основанием и *смешение действия с результатом* распространено, кроме того, и в нашей собственной речи".

В этом и лежит причина того, что концепция о "рефлекторной дуге" исторически выросла на действии и именно поэтому оставалась "открытой", поскольку закрыть ее могло лишь только представление о результатах действия и представление об информации мозга о этих результатах, т.е. об обратной афферентации.

На протяжении всего исследовательского процесса "результаты действия" подразумеваются как нечто само собой разумеющееся, но это "нечто" не нашло себе места в органической непрерывности поведенческого акта. Естественно, что отсутствие в поле зрения *результатов действия* повело за собой исключение из внимания исследователя и механизма *оценки результатов действия, т.е. обратную афферентацию.*

Используя приведенные выше примеры рефлексов, мы можем сказать, что результатом "хватательного рефлекса" будет не само хватание, как действие, а та совокупность афферентных раздражений, которая соответствует признакам "схваченного" предмета (результат действия). Движение этих возбуждений в сторону мозга и создает конечный этап — сопоставление этих афферентных возбуждений в акцепторе действия. Для карандаша, например, это будет совокупность характеризующих его признаков (граненность, вес, температура и т.д.).

Мне кажется, что именно в этом пункте надо искать причину крайней устойчивости представления о "рефлекторной дуге", которое на протяжении многих лет фиксировало внимание физиологов на совершившемся действии и непроницаемой ширмой отделяло их от оценки полученных результатов, являющихся *органическим следствием действия.*

4. ОБРАТНАЯ АФФЕРЕНТАЦИЯ

Понятие обратной афферентации закрывает пробел между действием и его центральным эффектом и делает *поведенческий*

акт стройной архитектурой, цельным "блоком", заканчивающимся оценкой результатов в акцепторе действия.

Здесь будет уместно оговорить одно неправильное выражение, которое часто применяется при анализе поведенческих актов. Некоторые авторы предпочитают вместо предложенного нами термина "обратная афферентация" применять термин "корригирующая афферентация". Это последнее выражение неправильно *по самой своей физиологической сути*. Афферентная сигнализация от результатов действия, от их параметров, ничего не может корригировать, поскольку она всегда является *пассивным следствием* наличия любых, даже неправильных, результатов действия. Обратная афферентация возникает даже в том случае, когда совершена поведенческая ошибка, поскольку она всегда может возникнуть как результат столкновения организма с какими-то факторами среды. И только лишь акцептор действия, содержа в себе все афферентные параметры цели, подсказанной афферентным синтезом, может иметь корригирующее влияние.

Это корригирующее влияние на полученный результат акцептор действия оказывает не прямо, не непосредственно, а возбуждает все активирующие аппараты центральной нервной системы, которые создают более тонкий афферентный синтез и более точную программу действия в виде сопоставления имеющихся уже параметров результата с параметрами, закодированными в обратной афферентации (ориентировочно-исследовательская реакция).

Одним из самых принципиальных вопросов, в оценке обратной афферентации является ее почти постоянная многопараметренность, отражающая многообразие черт самого результата. Так, например, результат действия может состоять в поступлении обратной афферентации через зрительный канал, но она может поступить также и через кожные рецепторы, через звуковые рецепторы и т.д. А это значит, что каждый из параметров результата может быть локализован в своей собственной проекционной зоне и, следовательно, комплекс параметров, характеризующих данный специфический результат, должен быть построен по принципу весьма обширной системы связей, охватывающей всю кору больших полушарий.

Возникает естественный вопрос: каким образом такая обшир-

ная система может вступить в связь с акцептором действия, содержащим также афферентные параметры? Из поставленного вопроса следует: если обратная афферентация проецируется в различные зоны коры мозга, часто весьма удаленные друг от друга, то и акцептор действия должен был бы иметь такую же обширную, т.е. дисперсную структурно-физиологическую архитектуру.

Такой вывод логичен, но едва ли мозг в действительности работает по такому принципу. Я склонен думать, что вначале, т.е. в первой стадии поступления в кору мозга, распыленные афферентные возбуждения в дальнейшем на каких-то элементах коры и подкорки собираются в более компактном виде, может быть даже на отдельных нейронах, и уж во всяком случае на каком-то весьма компактном ядерном образовании. Тогда физиологическое противоречие между дисперсией афферентных признаков результата по коре мозга, принятием решения и акцептором действия было бы устранено.

5. РАССОГЛАСОВАНИЕ МЕЖДУ ЦЕЛЬЮ И ПОЛУЧЕННЫМ РЕЗУЛЬТАТОМ

Пожалуй, одним из замечательных моментов функциональной системы поведенческого акта является момент сопоставления того афферентного прогноза результатов, который сконденсирован в акцепторе действия, с теми нервными импульсами, которые приходят к акцептору действия как сигналы о полученных результатах. Этот момент, несомненно, является критическим для формирования актов дальнейшего поведения в непрерывном и последовательном ряду поведенческих актов животного и человека.

В этом сопоставлении акцептор действия выглядит как нечто постоянное и направляющее (модель мотивации), в то время как обратная афферентация результатов может все время меняться в зависимости от степени успешности этих результатов. Эти изменчивые соотношения особенно широко представлены в поведении, формирующемся по типу "проб и ошибок".

Механизм сопоставления интегрированных признаков будущих результатов с сигналами о реально полученных результатах

награжден еще одним важны дополнением, именно — эмоциональным компонентом удовлетворенности или неудовлетворенности. Ясно, что этот фактор является дополнительным стимулом к поиску новых, более адекватных цели программ афферентного действия. Эта связь процессов рассогласования с эмоциональным характером всей реакции оказывается особенно выраженной в тех случаях, когда рассогласование связано с *полным отсутствием* обратной афферентации биологически положительного характера, как, например, от акта еды. В этих случаях имеет место рассогласование между акцептором действия, включающим в себя все параметры пищевого вещества, и отсутствием реальных раздражителей от пищевого вещества (вкусового), обонятельного, тактильного и т.д.

Типичным примером такого рассогласования является угашение условной пищевой реакции в обстановке работы по условным рефлексам. Уже первое неподкрепление едой акцептора действия, созданного условным раздражителем, в некоторых случаях вызывает резкую агрессивную реакцию и весьма энергичные попытки достать корм из кормушки (см. Анохин П.К., 1925).

В сущности, подобного типа поведение формируется также и у человека, если в его жизненной деятельности складывается такая же ситуация. Как мы знаем, у человека такие рассогласования приводят к весьма выраженным отрицательным эмоциональным состояниям. Можно думать, что в процессе эволюции фактор рассогласования между поставленной целью и полученным результатом был связан с возникновением отрицательной эмоции там, где рассогласование создавалось на основе неполучения жизненно важных факторов. Наоборот, если отсутствует обратная афферентация, сигнализирующая о биологически отрицательном действии, то рассогласование ведет к положительным эмоциям.

Можно думать, что такая связь механизмов оценки конечного результата в поведенческих актах с эмоциональным аппаратом является весьма прогрессивным и целесообразным приобретением в широком биологическом плане.

Для оценки этого момента рассогласования и совпадения в акцепторе действия мы должны еще раз указать на огромную

роль ориентировочно-исследовательской реакции. Во всех случаях несовпадения акцептора действия с конкретно полученными результатами автоматически включается механизм ориентировочно-исследовательской реакции. Последнее ведет к немедленному расширению и мобилизации афферентных информаций за счет более подчеркнутого анализа окружающей среды.

Этот процесс длительный. Он связан с непрерывной циркуляцией в афферентных системах центрально-периферических циклов возбуждений. В результате создается новая программа действия, которая может сформировать на периферии именно те конечные результаты, которые соответствуют сложившемуся уже ранее акцептору действия.

Как мы видели, нейродинамика формирования афферентного синтеза в том и состоит, что на протяжении этой стадии ориентировочно-исследовательская реакция создает два основных условия, обогащающих афферентный синтез все большим и большим количеством афферентной информации.

С одной стороны, это достигается чрезвычайно мощным энергетическим воздействием ретикулярной формации и гипоталамуса на кору больших полушарий. Благодаря этим воздействиям на корковых нейронах создаются все условия облегченного взаимодействия между клеточными элементами коры мозга, расположенными в различных, часто весьма удаленных друг от друга, пунктах коры.

С другой стороны, та же самая ориентировочно-исследовательская реакция способствует центробежным влияниям и на периферические рецепторы. Это последнее действие приводит к тому, что порог чувствительности включенного в данный момент в ориентировочно-исследовательскую реакцию анализатора значительно снижается, что еще больше соответствует успеху афферентного синтеза и формированию новой, более успешной программы действия.

Из приведенных выше нейродинамических условий, которые немедленно складываются после рассогласования между реальным результатом и акцептором афферентной модели результата, акцептор действия является весьма важным стимулом, создающим новый поиск с включением новых афферентных аппаратов и созданием новой программы действия.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Весь приведенный выше материал дает законченную архитектуру поведенческого акта, все узловые механизмы которого нейрофизиологически аргументированы, а поведенчески много раз были показаны в специально поставленных экспериментах (Макаренко, Асмаян и др.).

Эта физиологическая архитектура представляет собой весьма разнородную картину по качеству интегративных процессов, причем само взаимодействие между этими процессами является специфической чертой именно интегративного целого, а не его частей. Так, например, возникновение акцептора действия немыслимо без предварительного афферентного синтеза, а с другой стороны — без тех процессов, которые связаны с оценкой сигналов с периферии о полученных результатах.

Совершенно очевидно, что каждый из этих узловых механизмов содержит в себе бесконечное переплетение и взаимодействие возбуждений и торможений и в каждом из этих механизмов много раз встречаются одни и те же различные возбуждения. Но именно в этом и состоит смысл универсальной модели поведенческого акта. Хотя ее архитектура по составу процессов и механизмов весьма сложна, но она представляет собой логически законченное образование, чем и определяется место каждого процесса и механизма в этой большой архитектуре.

С точки зрения кибернетики, такая модель работы мозга является особенно удобной, поскольку, будучи построена на тончайших нейрофизиологических закономерностях, вместе с тем открывает широкие перспективы для моделирования и математической обработки ее частных механизмов. Но именно соотношение этих частных механизмов с целой архитектурой и представляет собой то, что может быть использовано при моделировании и конструировании электронных и технических конструкций. Именно этим и объясняется тот факт, что многие и нейрофизиологи, и кибернетики обратили специальное внимание на достоинства изложенной выше физиологической архитектуры целого поведенческого акта (Мэгун, 1963; Клаус, 1962; Г.Паск, 1963; М.Минский, 1964, А.Фессар, 1961, и др.).

В данной работе мне интересно было продемонстрировать для психологов физиологическую архитектуру поведенческого акта

как целого потому, что именно поведенческий акт является связующим звеном между нейрофизиологией, высшей нервной деятельностью и психологией.

Как можно было видеть, в настоящее время мы уже по целому ряду узлов этой физиологической архитектуры имеем вполне определенные результаты, полученные в тонком нейрофизиологическом исследовании.

Когда-то Альфред Фессар, принимая наши принципиальные положения о физиологической архитектуре поведенческого акта, заметил, что наступил момент, когда в тонком нейрофизиологическом эксперименте мы должны показать те механизмы и процессы, с помощью которых удерживается как единое интегративное целое эта поведенческая архитектура (А.Фессар, 1959). Сейчас мы уже можем сказать, что значительная доля тайн, которые включены были в разных узлах физиологической архитектуры поведенческого акта, нами в какой-то степени раскрыта, хотя еще многое остается исследовать для того, чтобы сделать ясной эту удивительно целесообразную организацию, создававшуюся миллионы лет.

Во всяком случае, мы сейчас близки, например, к пониманию механизмов афферентного синтеза до молекулярного уровня включительно. Мы подошли вплотную к оценке составных физиологических компонентов акцептора действия и поняли огромную роль *результата* как самостоятельного компонента всей архитектуры.

И лишь только два узловых механизма, с логической точки зрения локализованные довольно точно, до сих пор еще не поддаются тонкому нейрофизиологическому анализу и детерминистической расшифровке. Это — "принятие решения" и "рассогласование" между реально полученными результатами и афферентной моделью этих результатов, отраженные в акцепторе действия.

Однако, основываясь на добытых нами весьма многочисленных нейрофизиологических фактах, я не имею оснований думать, что эти сложные вопросы являются неразрешимыми. В качестве примера, оправдывающего такой оптимизм, можно указать на то, что роль "копии команды" при совершении какого-либо афферентного акта становится все более и более ясной. Как показывают микроэлектродные исследования, ответвляясь по

коллатералям тысяч различных аксонов, эти эфферентные возбуждения долгое время остаются активными в замкнутых "ловушках возбуждения", открытых Лоренте Де Но. Эти возбуждения, очевидно, являются циклическими и в целом комплексе остаются активными до того момента, когда придет обратная афферентация о полученных результатах.

Для меня сейчас является несомненным, что интимный акт оценки полученных результатов происходит где-то здесь, на стыке еще свежих, энергетически заряженных следов от эфферентного приказа к действию с приходящими позднее сигналами о полученном результате.

Мы прилагаем сейчас все усилия на самых различных уровнях исследования, от молекулярных процессов до высшей нервной деятельности и психологии включительно, чтобы объединить в одной концепции все уровни наших знаний о мозге.

Задача, несомненно, трудная, но мы хорошо знаем, что никогда еще в истории науки не было такого случая, чтобы страх перед трудностями исследования способствовал научному прогрессу.

III

МОДЕЛИРОВАНИЕ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

ПРЕДИСЛОВИЕ[1]

к книге Ф.Джорджа "Мозг как вычислительная машина"

Едва ли будет преувеличением сказать, что широкие круги читателей, работающих в области биологии и медицины, связывают успехи кибернетики, да, пожалуй, и самую кибернетику с *возможностью моделирования различных жизненных процессов и особенно работы мозга.*

Моделирование — вот понятие, с которым сейчас наиболее тесно связаны надежды на кибернетический подход и математическое изучение жизненных процессов и функций. Можно с полным правом утверждать, что смоделировав какой-либо процесс или явление жизни с достаточной степенью точности мы получаем в руки возможность произвольно изменять его, т.е. в сущности управлять им.

Неудивительно поэтому, что в последние годы литература, пограничная между биологией и кибернетикой, чрезвычайно богата сообщениями о попытках моделировать самые разнообразные "элементы" и "узлы" нервной деятельности. Моделируется проведение возбуждений по нервам, проведение возбуждений через синапс, нервные центры, поведение, обучение, мышление и т.п. И надо сказать, что подчас мы встречаем весьма удачное соответствие функций модели и функций организма.

Однако наряду с этим чисто количественным ростом попыток моделирования постепенно назревает необходимость разработать общие правила, методологические принципы, которые должны быть предпосылкой любой попытки моделирования, независимо от степени сложности моделируемого явления.

Но, к сожалению, именно эта методологическая сторона моделирования совершенно неразработана. Еще нет отчетливого ответа даже на такой простой вопрос: какие именно параметры

---

[1] В кн.: *Джордж Ф.* Мозг как вычислительная машина. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963, с. 5—18.

моделируемого процесса или механизма являются решающими для успеха самого моделирования и каков удельный вес отдельных параметров данного функционального проявления организма.

В этом смысле предлагаемая вниманию читателя книга Джорджа несомненно полезна, хотя она и имеет много существенных недостатков в других отношениях. Несмотря на то, что книга Джорджа и изобилует нейрофизиологическими, психологическими и поведенческими данными, взятыми автором из новейшей научной литературы, все же он ставит акцент именно на методологических предпосылках моделирования.

По своему содержанию книга Джорджа относится к серии работ по нейрокибернетике, появившихся в последнее время в литературе, в которых делается попытка сблизить нейрофизиологию с современными представлениями и достижениями математической логики и технической кибернетики. Стало уже традиционным апробировать такое сближение на конструировании различных моделей как целого мозга, так и его отдельных узловых механизмов. Модель оказалась своего рода пробным камнем для определения полезности комплексных исследований нейрофизиолога и кибернетика.

В определенном смысле к этой категории работ можно причислить уже опубликованную в переводе на русский язык книгу Эшби "Конструкция мозга" (Москва, 1962). К ним же относится и недавно изданная за рубежом монография Д. и К.Стэнли-Джонсов "Кибернетика живых систем" и другие. Особенно же много работ подобного направления публикуется в форме отдельных статей и симпозиумов (см., например, сборник "Электроника и кибернетика в биологии и медицине", Москва, 1963).

Книга Джорджа отличается от упомянутых выше работ тем, что она специально и даже почти исключительно направлена на анализ всех тех предпосылок, физиологических и математических, которые должны лежать в основе любой попытки моделирования как отдельных механизмов мозга, так и мозга в целом. Джордж довольно подробно разбирает вопрос о математической логике, многие физиологические представления и особенно теорию условного рефлекса и различные его механизмы.

Однако если при разборе математических и логических предпосылок Джордж дает полезные сведения и помогает понять некоторые современные тенденции в проблеме моделирования

мозга (например, при разборе "логических сетей"), то этого отнюдь нельзя сказать о его нейрофизиологических и особенно философских экскурсах. В этом отношении Джордж, будучи не нейрофизиологом, а психологом-математиком, неизбежно оказывается в плену тех недостатков в развитии нейрофизиологии, которые имеются в настоящее время. Между тем совершенно очевидно, что построить "мозг как вычислительную машину" можно только в том случае, если использовать все современные достижения науки и преодолеть эти принципиальные недостатки.

Один из критических пунктов в развитии современной нейрофизиологии, и особенно в применении ее результатов для объяснения поведения, это отсутствие организованной и осознанной тенденции к синтезу и к пониманию общих закономерностей. Еще по-прежнему мы наблюдаем совершенно неоправдавшую себя тенденцию из уже известных элементарных процессов, из деталей и частных механизмов построить целое. Характерной чертой этой тенденции является молчаливое допущение того, что целое ничего не привносит в проблему сверх того, что дает нам аналитический опыт, что подсказано свойством деталей этого целого. При таком допущении с самого начала отрицается какое-либо своеобразие целого, наличие у него свойств, присущих только целому как таковому, но не отдельным его деталям или элементам. Оно исключает появление новых качеств, которые возникают как только сложилось организованное целое.

Конкретно, в науке о поведении эта тенденция прежде всего выражается в том, что возбуждение и торможение считают исключительными факторами, на основе которых строится объяснение любых поведенческих актов и любых форм приспособительной деятельности животного и человека, независимо от их сложности. Игнорируется обычно другой, не менее важный факт, а именно: *в какую архитектуру включен этот отдельный процесс, этот частный механизм?*

Возьмем для примера две такие основные формы деятельности, два таких состояния человека, как положительные и отрицательные эмоции, например радость и тоску. Едва ли кто-либо из нейрофизиологов или клиницистов сомневается в том, что и то, и другое состояние организма в целом имеет в своей элементарной основе процессы возбуждения и торможения. Но в то же время совершенно очевидно, что *самый факт наличия*

возбуждения и торможения в этих двух сложных и противоположных состояниях организма не дает нам никаких опорных пунктов для понимания глубокой сущности радости и печали.

В работах последних лет все более и более выступает на первый план значение архитектурного принципа в построении сложных функциональных систем организма, имеющих свое собственное качество, свою собственную им одним свойственную систему отношений. В таком объединении решающую роль приобретают уже не элементарные процессы, не детали, а именно *архитектура*, особенность, так сказать, ее стиля. Если проследить внутренний смысл разногласий, противоречий и взаимонепонимания в различных областях биологии и медицины, то окажется, что по сути дела эти разногласия вызваны различным подходом к пониманию соотношений между отдельным элементом и целостной архитектурой физиологических функций.

Понятие архитектурности в формировании разветвленных физиологических функций уже не раз привлекало внимание физиологов. В качестве примера можно назвать замечательную монографию Баркрофта "Архитектура физиологических функций". Даже у Ивана Михайловича Сеченова в его лекциях по физиологии нервной системы уже содержится вполне отчетливое указание на то, что архитектура соединений может иметь более важное значение для конечного приспособительного эффекта, чем отдельные компоненты этой архитектуры. Так, например, в предисловии к своей книге "Физиология нервной системы" он писал, что элементы в процессе деятельности должны соединяться в "естественные группы".

Еще более отчетливо роль именно архитектурного принципа выступает в условном рефлексе и в общих свойствах саморегуляции, сформулированных И.П.Павловым.

Роль кибернетики в развитии физиологических исследований состоит именно в том, что она с особенной силой подчеркнула значение архитектурного фактора. Она показала важность замкнутой циклической циркуляции информации в условиях саморегулирования, а также роль обратных связей, которые являются типичным признаком целостной архитектуры, а не отдельного элемента. Сюда можно добавить теорию логических сетей, теорию мультистабильных систем, математическую логику в целом, теорию моделирования и т.п. Все это примеры, подчеркивающие

специфические черты системной организации, которая, становясь таковой, немедленно приобретает новые свойства целостной архитектуры, значительно "снимающей" удельный вес элементов.

Замечательная особенность живой природы состоит в том, что приспособительные свойства всех организмов, независимо от уровня их специализации, развиваются на основе одних и тех же архитектурных принципов, которые объединены функциональной системой с обратной афферентацией. Это единство *архитектурных принципов* при совершенно различных конечных *приспособительных эффектах* организма — поистине дар природы исследователю-физиологу. Благодаря этой универсальности исследователь держит в руках ключ к ускоренному и более глубокому познанию не только узловых пунктов самой архитектуры, но и всех тончайших процессов живой системы до молекулярного уровня включительно. Образно выражаясь, эти тончайшие аналитические данные как бы получают свой "адрес" в пределах целостной функциональной системы.

Не трудно видеть, что именно эта почва и эти достоинства кибернетического мышления породили тягу к синтезу, поиску общих закономерностей, присущих целостной организации, и раскрытию решающей роли конечного синтеза на всех этапах развития приспособительной деятельности организма.

Книга Джорджа безусловно помогает этому движению мысли и несомненно заставит многих физиологов и нейрофизиологов подумать о возможности применения "логических сетей" для характеристики узловых процессов организма. И в этом смысле глава "Логические сети" несомненно поможет контакту между математической логикой и нейрофизиологией. Моделируя отдельные узлы целостных функциональных систем, логические сети, уже по одному тому, что они математически и геометрически конкретны, дают возможность установить как их достоинства, так и их недостатки. Сопоставление логической сети и истинного нейрофизиологического процесса в какой-то степени похоже на сопоставление черно-белой и цветной фотографий одного и того же объекта: мы видим все то, чего не хватает черно-белой фотографии логической сети для того, чтобы она полностью отразила все цвета объекта, т.е. все параметры и свойства живой организации.

Конечно, на этом пути Джордж допускает много ошибок и

излишних упрощений. Так, например, едва ли правильно будет рассматривать нейрон лишь как "специализированную клетку высокой степени возбудимости и проводимости". Конечно, нервная клетка обладает и тем и другим свойством, но в свете всех последних достижений в области электронной микроскопии синаптических образований нервной клетки и нейрохимической характеристики этих синаптических образований, это допущение оказывается слишком простым и недостаточным. Нервная клетка предстала перед исследователями как чрезвычайно сложный комплекс специализированных и весьма "надежных" ферментативных реакций, благодаря которым в одно и то же время и в одной и той же клетке могут сосуществовать процессы, принимающие участие в реакциях противоположного биологического качества.

В этом смысле весьма справедливо указание Джорджа на то, что сама практика моделирования поставила нас перед необходимостью моделировать не только электронные модели, но, вероятно, и плазменные модели; это и есть тот камень преткновения, который мешает проблеме моделирования подняться на большие высоты. Но нельзя сказать, что электронные модели не приносят пользы. Уже самый факт, что эти модели подчинены законам математической логики и отражают какие-то стороны нервной деятельности, определяет их перспективность и полезность для совместного изучения нервной системы математиками и физиологами.

Мне лично кажется, что для моделирования очень важно с самого начала избрать верный путь, а такой верный путь невозможно найти без тщательного анализа и синтеза современных достижений нейрофизиологии. Именно поэтому мне кажется, что Джордж допускает ряд значительных ошибок, переводя моделирование, например, торможения и возбуждения, в логических сетях на чисто количественный принцип. Так, например, он считает, что число возбуждающих элементов должно быть на единицу больше, чем число элементов тормозящих; такое допущение, несомненно, не соответствует истинным соотношениям в нервной системе, не говоря уже о том, что торможение всегда является следствием возбуждения, развившегося при определенной архитектуре отношений. Такое же несоответствие реальным чертам нервной деятельности заключается и в его допущении "множеств", "подмножеств" и т.д. в рецепторных соотношениях,

определяющих функцию восприятия. Ведущее значение рецепторного элемента зависит только от экстренно складывающейся ситуации, и любой элемент, находящийся в данный момент в категории "подмножества", при изменении ситуации может оказаться самым важным и ведущим компонентом в оценке внешнего мира.

Все эти недостатки построения логических сетей очевидны. И, несомненно, сами логические сети должны в дальнейшем совершенствоваться, однако построение сетей даже на том уровне, на котором их строит Джордж, приносит реальную пользу. Оно придает новый привкус самому физиологическому мышлению и повышает степень точности в посылках и предпосылках, которыми мы пользуемся при анализе тех или иных явлений.

Одним из важнейших пунктов книги Джорджа является математический анализ обучения (learning). Остается и по сие время неизменным то положение, что проблема обучения, т.е. его нейрофизиологические и психологические закономерности, являются центральной задачей научно-объективного изучения поведения животных и человека. Эта же проблема является центральной для конструирования моделей, полезных как для исследовательской работы, так и для создания различных "самоорганизующихся" машин с автоматической регуляцией. Известно, что "самообучающиеся" и меняющие "цель" своей работы машины являются идеалом теории моделирования. Однако именно потому, что проблема обучения не только не разрешена, но еще даже не достигнуто общей договоренности о решающих узлах этого комплексного процесса мозга, проблема моделирования обучения развивается весьма медленно. Одна из главных причин этой задержки, если судить по современной литературе, — все то же противоречие между элементом и целостной архитектурой, все та же недооценка свойств целостности физиологической архитектуры. Становится все более и более очевидным, что перевод обучения, как комплексного явления, на язык возбуждений и торможений совершенно недостаточен. Несомненно, и возбуждение, и торможение являются постоянными участниками любого поведенческого акта, как бы он не был сложен, но именно потому, что важно установить не их участие как таковое, а определить, какое место занимают эти процессы в целостной

системе, мы с трудом приближаемся к пониманию нейрофизиологических основ обучения.

Джордж дал чрезвычайно обширный обзор всех существующих теорий обучения, я бы сказал даже, что обзор этот излишне обширен, хотя вообще говоря, советскому исследователю полезно ознакомиться, как выражался Павлов, с этой "канителью мысли", чтобы почувствовать достоинство того единого принципа расшифровки, который нам дает условный рефлекс. Автор книги привел огромное количество терминов, которые пытаются или разъяснить, или расшифровать механизм самого условного рефлекса. Здесь мы встречаемся и с "теорией замещения", и с "теорией ожидания", с несколькими формами "подкрепления" и т.п. Читая эту часть книги, читатель должен постоянно иметь перед собой такой критерий, как физиологическая основа условного рефлекса. Ясно, что именно здесь будет найден ключ, который сможет открыть свойства всех этих разновидностей поведения. Сам Джордж останавливается в нерешительности перед этим обилием объяснений, имеющих то психологический, то телеологический привкус, и задает вопрос: "Действительно ли уж так различны формы поведения?" Ему можно ответить: эти различия — лишь вариации одного и того же принципа нейрофизиологии, на основании которого процессы мозга могут опережать текущие вне его события. В этом разделе книги Джордж касается таких важных проблем, как проблема мотивации, "эффективного стимула" и даже проблема экологической важности координации центрально-периферических взаимодействий.

Интересно, что моделирование, скажем, пищевого поведения у Джорджа правильно связывается с наличием механизмов "поиска", так или иначе мотивированного организма. Однако и здесь автор оказывается беспомощным, когда надо разрешить проблему "насыщения". Ясно, что мы не можем достаточно точно моделировать пищевое поведение и формирующееся на этой основе обучение, не зная механизмы насыщения. Голод и насыщение — пара состояний, органически связанных в единстве пищевого поведения. И любая модель обучения или поведения, сконструированная на этой основе, должна совмещать в себе эти взаимодействующие состояния. К сожалению, Джорджу мало известна советская литература по проблемам высшей нервной деятельности, относящаяся к последним годам. Этот недостаток

информации сказывается у Джорджа во многих местах книги и, в частности, в его отношении к учению о высшей нервной деятельности в целом.

Вообще говоря, Джордж очень высоко ценит условный рефлекс как универсальную закономерность в приспособительном поведении животных и человека и в этом смысле ставит "модель мозга", разработанную Павловым, гораздо выше, чем модели, созданные другими физиологами и психологами. Однако слабое знакомство Джорджа с развитием учения И.П.Павлова в последние годы приводит к тому, что он высказывает ряд критических замечаний по поводу тех гипотез, которые Павлов предложил для объяснения нейрофизиологических механизмов, лежащих в основе условно-рефлекторной деятельности. Речь идет об иррадиации, отрицательной индукции, концентрации и т.п. Автор находит некоторое противоречие в отдельных допущениях Павлова о механизмах корковых процессов и считает, что некоторое из этих допущений не соответствует общему уровню современных достижений в нейрофизиологии. Эти критические замечания Джорджа необоснованы. Основные формулировки относительно нейрофизиологических механизмов Джордж взял из переведенной на английский язык книги И.П.Павлова, изданной в 1927 г. Естественно, что целый ряд более поздних работ как самого Павлова, так и его последователей и учеников внесли существенные изменения в рабочие гипотезы И.П.Павлова. Так, например, несколько изменился взгляд на локализацию внутреннего торможения, на механизм его возникновения, на соотношение коры и подкорки в формировании самого условного рефлекса и т.п. Для автора книги, опубликованной в 1961 г., было бы естественно взять все то последнее, что сделано в Советском Союзе в развитии идей Павлова.

Хотелось бы сделать по этому поводу несколько замечаний. В учении И.П.Павлова о высшей нервной деятельности мы должны различать несколько категорий фактов и представлений. На первом месте стоят факты, касающиеся высшей нервной деятельности, факты, лежащие в основе главнейших закономерностей, установленных Павловым. Условный рефлекс, это универсальное явление природы, несомненно останется в веках как нерушимый фундамент для всех последующих изысканий. Угасание условного рефлекса при устранении подкрепляющего фак-

тора также является фундаментальным законом деятельности головного мозга. Можно привести много таких фактов, которые вошли в мировую физиологическую литературу как золотой фонд науки, как величайшие достижения нашей отечественной науки.

Но есть и другая категория фактов, служащих *объяснением* механизмов, с помощью которых осуществляются эти фундаментальные законы высшей нервной деятельности. В то время как факты первой категории с развитием науки не меняются и в этом смысле бессмертны, объяснение механизмов всегда зависит от степени развития данной области науки; для условного рефлекса это прежде всего развитие нейрофизиологии.

Едва ли кто-либо решится сказать, что мы в какой-то момент получим окончательное объяснение мозговых механизмов, но все исследователи согласны с тем, что объяснения должны эволюционировать в соответствии с прогрессом смежных областей науки. Никто иной как сам Павлов с удивительной четкостью охарактеризовал эту зависимость наших объяснений от общего уровня науки. Он писал: "...все наши классификации, все наши законы всегда более или менее условны и имеют значение только для данного времени, в условиях данной методики, в пределах наличного материала"[1].

Делая критические замечания именно по поводу объяснений механизмов высшей нервной деятельности, Джордж забыл об этом основном законе научного прогресса и не учел тех изменений, которые внесены в представления о самой природе условного рефлекса.

Так, например, вряд ли мы можем думать о генерализации возбуждения только в аспекте его распространения по коре головного мозга, когда доказано сотнями экспериментов, что уже через 15 мсек после прихода условного возбуждения в кору головного мозга, кора оказывается возбужденной in toto, через ретикулярную восходящую активирующую систему. Ясно, что каждое новое исследование должно строиться в связи и на основе тех новых достижений, которые привносятся в учение о высшей нервной деятельности со стороны нейрофизиологии.

Советскому читателю будет очень интересно и, я полагаю, нетрудно разобраться в критических замечаниях Джорджа и

---

1 *Павлов И.П.* Полное собрание трудов, т. III, 1949, с. 169.

увидеть их несостоятельность по отношению к нашим подлинным представлениям о механизмах высшей нервной деятельности.

Весьма важно сделать несколько замечаний о философской стороне в предпосылках и утверждениях Джорджа по поводу психики, познания и механицизма. Хорошо известно, что прогресс в науке связан с развитием новых идей, с трансформацией старых философских представлений. Достаточно вспомнить ту критику, которую дал Ленин идеалистическим тенденциям, связанным с успехами физики. Некоторые философы, потеряв почву под ногами, выбросили лозунг "материя исчезла", надо было провести тщательный анализ современных достижений физики, энергетики и математики, чтобы выявить несостоятельность этих утверждений.

В настоящее время наука о психическом, о мозге, о поведении переживает исключительно бурный рост, преобразование под давлением новых достижений, новых направлений в науке и новых теорий, выросших на новых фактах. Достаточно указать, что на проблеме мозга, его функций и моделирования этих функций скрестились мечи многих философских направлений и научных теорий. В самом деле, математическая логика дала нам возможность раскрыть логические структуры функций, превратить их в инструмент предвидения и вместе с тем создать постоянный контакт между математикой и нейрофизиологией, открывающий богатые творческие перспективы. Кибернетика в целом в смелых, а иногда и заносчивых лозунгах обещает полностью смоделировать человеческий мозг и даже весь человеческий организм. Теория автоматического регулирования раскрывает общие законы функционирования организмов и машин.

В этом потоке будоражащих идей и под натиском все новых и новых обобщений исследователь, не имеющий прочного материалистического фундамента, неизбежно попадает под удары различных философий и, естественно, может растеряться.

Позиция Джорджа на протяжении всей его книги, особенно в гл. III, прекрасно иллюстрирует трудное положение, в которое попадает исследователь, не имеющий устойчивого материалистического мировоззрения.

В основе Джордж, конечно, является стихийным материалистом с явно выраженной позитивистской тенденцией. Он катего-

рически отрицает какое-либо право за философией вмешиваться в научный прогресс и в научные исследования. Как он выражается, наука должна отказаться от универсальности и заниматься решением своих собственных задач, т.е. задачи конкретного исследовательского характера. Конечно, мы не можем согласиться с этим положением Джорджа; да и вся его книга показывает, что если исследователь отказывается от философии, то она неизбежно сама приходит к ней. И этот отказ повредил Джорджу именно тем, что он не смог использовать для своих конкретных предложений по моделированию мозга хотя бы той концепции единства анализа и синтеза, которая составляет одну из основных черт методологии диалектического материализма. Я уже сказал, что Джордж в целом ряде своих высказываний представляется нам как несомненный стихийный материалист, но именно это и заставляет его в других местах оперировать терминами буржуазной философии без острой их критики. В этом смысле наше отношение к Джорджу должно соответствовать ленинским принципам критики идеализма в естествознании. По этому поводу Баженов и Слуцкий пишут: "Чтобы полностью и до конца преодолеть идеализм в естествознании, необходимо, как учит В.И.Ленин, четко отличать откровенных и последовательных идеалистов от ученых, которые, допуская путаные высказывания по коренным философским вопросам, в целом стоят на позициях стихийного материализма"[1].

Президент Академии Наук СССР М.В.Келдыш в своем выступлении на пленуме ЦК КПСС (июнь, 1963 г.) совершенно правильно сказал: "...Если иногда возникает опасность идти вслед за буржуазными философами в освещении новых закономерностей природы, то не менее отрицательную роль может сыграть игнорирование новых достижений естествознания только потому, что они получили на Западе неправильное философское толкование".

В книге Джорджа, стоящей на стыке достижений многих наук, решающих проблемы методами абстрактного мышления, отразились все трудности философского осмысливания этих новых успехов и новых задач нейрофизиологии, психологии, кибернетики, математической логики. Джордж, конечно, стре-

---

[1] Коммунист, 1963, № 9. — С. 72.

мится преодолеть эти трудности и направить решение проблемы мозга на новые пути, с использованием математики и логики. В этом и состоит ценность его труда.

Поскольку книга предназначена для советских физиологов, психологов и математиков, несомненно гораздо более сведущих в философии, чем сам автор, мы не считали нужным оговаривать каждое сомнительное рассуждение Джорджа.

Важно то, что конструктивная часть его книги полезна и будит мысль. Она несомненно может сблизить позиции математиков-логиков и нейрофизиологов на путях разработки более совершенных принципов исследования и моделирования процессов мозга.

МЕХАНИЗМЫ ПРЕДСКАЗАНИЯ В РАБОТЕ МОЗГА И ПЕРСПЕКТИВЫ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ИХ В ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМАХ[1]

1. Внешние события, оказывающие влияние на организм, как правило, развиваются в медленной последовательности, и наоборот, химические процессы, отражающие эти события в протоплазме клетки, обладают большой скоростью развития и, следовательно, могут значительно опередить последовательный ход внешних событий. Этот основной закон формирования живых систем и обусловил первичные элементы "предсказания" предстоящих событий, если только до этого они периодически оказывали свое действие на организм на протяжении многих лет.

2. На уровне высших организмов и человека, где центральная нервная система является универсальным регулятором приспособления, функция предсказания будущих явлений целиком перешла к мозгу. Она приобрела здесь специальные механизмы и отличительные формы деятельности, заняв определенное и закономерное место в формировании поведенческих актов целого организма. Для решения вопроса о конкретных процессах, составляющих механизмы предвидения будущих результатов, необходимо прежде всего установить место функции предвидения в физиологической архитектуре любой саморегулирующейся системы и поведенческого акта.

3. Предвидение как функция целого мозга является неизбежным следствием формирования "решения", т.е. "цели поведения", после чего предвидение результатов и формирование эффективной программы к действию развиваются почти одновременно друг с другом. В этом и состоит принципиальная физиологическая архитектура любого поведенческого акта. Решающим моментом, определяющим формирование аппарата предвидения будущих результатов, является стадия афферентного

---

1 В сб.: Научно-техническая конференция по бионике. — М.: 1964. — С. 3—5.

синтеза, т.е. интегральная обработка всей информации, связанной с поведением животного и человека в данной конкретной ситуации.

4. Изучение состава афферентного синтеза как неизбежного звена формирования предвидения будущих результатов действия показало, что он представляет собой интегральное объединение важнейших четырех компонентов:

а) совокупности всех обстановочных информаций, которые могут состоять из бесчисленных количеств внешних воздействий, характерных при данной ситуации (комната, улица, парк и т.д.);

б) наличия ведущей мотивационной обстановки, связанной с общим состоянием организма на данный момент, определяемым или физиологическими или социальными факторами;

в) действия пускового стимула, доводящего до порога выявления всю предпусковую и предпороговую интеграцию, которая была создана предыдущими компонентами (а, б). Пусковой стимул приурочивает реализацию поведенческого акта точно к определенному моменту, в который данный поведенческий акт может иметь максимальный приспособительный эффект;

г) совокупности информации, заложенной в памяти и адекватно извлекаемой в данный момент под влиянием обстановочных, мотивационных и пусковых факторов.

5. Афферентный синтез может иметь различные степени сложности и различную скорость, обеспечивающую медленное или быстрое формирование цели к действию (сравните, например, выбор места работы, переход улицы и т.д.). Немедленно после формирования цели к действию формируется и аппарат, которому предстоит в будущем сличение результатов с поставленной целью к действию. Этот аппарат был назван нами в соответствии с его физиологическим смыслом "акцептором действия". Физиологический смысл этого аппарата состоит в том, что он воспринимает информацию об афферентных параметрах, полученных в результате данного действия, и сопоставляет их с афферентными компонентами акцептора действия, который был сформирован непосредственно после окончания стадии афферентного синтеза.

6. Состав аппарата предвидения и сличения состоит в том, что он должен включать в себя как афферентные признаки будущих результатов, так и компоненты весьма оригинального механизма, дающего возможность сличать предыдущую информацию о результатах с точными признаками поставленной до этого цели. Иначе говоря, физиологический смысл этого аппарата состоит в том, что он сопоставляет и трансформирует информацию, полученную в различных кодах.

7. Одним из наиболее важных и характерных признаков акцептора действия является его крайне динамическая подвижность и сменяемость, что отличает его, например, от динамического стереотипа (И.П.Павлов). Акцептор действия является динамическим результатом данной, иногда внезапно складывающейся ситуации. Следовательно, акцепторов действия столько, сколько существует динамически складывающихся ситуаций и поставленных целей к действию. Это выдающееся свойство акцептора действия является весьма важным моментом для моделирования меняющихся "целей" механических и электрических устройств.

8. Конкретными физиологическими механизмами, обеспечивающими акцептору действия точное предсказание предстоящих результатов, являются следующие:

а) опережающее возбуждение;

б) перекодировка результатов афферентного синтеза;

в) формирование модели (акцептора действия) для сличения полученных результатов с поставленной целью, а также для корригирования и управления этими результатами.

9. Важнейшим механизмом для моделирования самоорганизующихся и пластично приспосабливающихся к изменению ситуаций электронных устройств, как считает современная бионика, является механизм предвидения результатов в работе мозга. "...Поэтому все теории организации мозга, которые не отражают способности к предвидению, должны считаться несостоятельными. Система биологическая или искусственная не может быть признана мыслящей, если она не обнаруживает способности к предсказанию. В этой связи значительный интерес представляет исследование организационных принципов, позволяющих той или иной системе обучаться предсказанию".

10. Оценка современных типов предсказания в электронных и механических устройствах и сопоставление их с механизмами предвидения в мозгу убеждает в том, что разрешение проблемы моделирования нервных процессов, моделирование обучения и конструктивные работы по проектированию самоорганизующихся машин и электронных устройств находится в прямой зависимости от того, как глубоко мы будем понимать функцию предвидения в головном мозге. Она зависит также от того, как успешно мы будем переносить эти механизмы в конструкцию управляющих электронных устройств. Успех на этом пути при современной работе нейрофизиологов, математиков, физиков и инженеров-электроников, несомненно, обеспечит успех в деле усовершенствования существующих типов счетно-вычислительных и управляющих электронных устройств.

ПРОБЛЕМЫ МОДЕЛИРОВАНИЯ ЖИЗНЕННЫХ ПРОЦЕССОВ И ФИЗИОЛОГИЯ МОЗГА[1]

Разработка животрепещущих вопросов кибернетики в связи с проблемой сущности жизни привлекает внимание широкого круга специалистов разного профиля.

Как отметил А.Н.Колмогоров, в систематических газетных дискуссиях общественность также высказывает свою заинтересованность, свою настороженность и некоторый скепсис в вопросах, которые связаны с развитием и особенно с надеждами на кибернетику у нас в стране.

Если взять в целом ту ситуацию, которая сложилась с развитием кибернетики, с претензиями кибернетики и с реакцией тех, которые не видят в этих претензиях положительного эффекта в будущем, то хотелось бы отметить, что главная причина всех разногласий лежит в неорганизованности самих дискуссий.

Всякая дискуссия становится только тогда полезной, когда четкость постановки вопроса, четкость критериев и исходных понятий дискуссии является для всех очевидной. Тогда убедительность доводов каждого из участников становится особенно понятной и ценной.

К сожалению, дискуссия о роли кибернетики в науке и жизни с самого начала пошла по пути или неоправданных сенсаций или по пути чрезмерных реакций на эти сенсации. В результате мы находимся в положении людей, которые все должны начинать сначала, т.е. с тех логических схем и с тех исходных критериев, которые должны дать нам прочную материалистическую опору для решения этого сложного, но в высшей степени интересного вопроса.

Должен отметить огромный вред некоторых идей, которые вносятся в среду молодых ученых и под влиянием которых молодые ученые теряют перспективу своей личной научной работы.

---

[1] В кн.: О сущности жизни. — М., 1964. — С. 204—210.

Это можно наблюдать в кругах молодых физиологов. Им становится вдруг неинтересно изучать нервную клетку. "Зачем это делать, когда мы сразу можем построить это из электронных ламп?" Такие настроения, к сожалению, проникают в среду молодежи, и по сути дела именно нейрокибернетика заставила меня выступить в "Литературной газете" с указанием на наши реальные возможности и на пределы этих возможностей в изучении и моделировании мозга.

Здесь я буду придерживаться главным образом некоторых очень важных проблем философского характера, которые уже поднимались в нашей печати.

О чем идет речь? Если человек пытается сделать какие-то машинные модели живого с элементами целесообразности и приспособляемости, т.е. адаптации, то считают, что он по сути дела становится как бы в категорию механицистов. И наоборот, кибернетики, физики, математики совершенно искренне думают, что всякий, кто этому сопротивляется, — неважно, из каких позиций он исходит, разумных или консервативных, — тот виталист, исповедует виталистическую веру в неразложимость жизни, необъяснимость ее основных движущих начал и т.д.

Такое обострение оценок в нашей среде и несвоевременно, и неоправданно, ибо всякий понимает, что такое диалектический материализм, и прекрасно знает основные принципы развития науки и мышления на основе этих положений.

Думаю, что это обострение произошло только потому, что обе стороны не нашли исходных критериев для споров.

В самом деле, обычно ставится вопрос: может ли машина стать умнее человека? Но всякая логика научного спора требует прежде всего определить понятие ума и "умнее". Умнее — что это за параметр, выражаясь языком математики, как мы можем его точно определить, чтобы сопоставлять на его основе и то и другое?

Никто не определяет, а все спорят. Конечно, это неорганизованный спор в таком важном вопросе, и такая неорганизованность ведет к запутанности и превращает ответ на этот вопрос в символ веры — один верит, что это можно сделать, а другой не верит. Вряд ли это может быть названо научным подходом к такой важной проблеме.

Следовательно, прежде всего вопрос заключается в том,

чтобы определить понятие ума и "умнее". Так, например, если бы я определил ум по критерию скорости передвижения, то любой мотоцикл был бы умнее меня. Если я хочу сравнивать, я выбираю параметр, но совершенно невозможно сравнивать "умнее" или "не умнее", беря одну какую-нибудь способность, один параметр из всей многообразной деятельности человека.

Допустим, что я взял такой, например, параметр, как "шахматная комбинация". Это большое достижение, что можно сконструировать машину, способную "произвольно" из оценки сложившейся ситуации на шахматной доске сделать ход, который может быть умнее, чем ход, который сделает шахматист.

Можно допустить, что это вполне осуществимо. Но этим параметром дело сравнения не заканчивается. Это только один из миллионов параметров в деятельности человеческого ума, который доведен благодаря человеку и благодаря машинным устройствам до совершенства. Это огромное достижение, что мы можем отдельные параметры или признаки человеческого ума (работы мозга) довести до совершенства, превосходящего сам мозг. Это и есть прогрессивная часть кибернетики.

Однако когда начинают спрашивать, может ли быть машина "умнее" человека или не может, то вопрос надо сделать более реальным и спросить: может ли машина произвести больше отдельных операций и лучше, чем производит человек, переходя от одной операции к другой?

Таким образом, акцент надо ставить не на отдельных способностях, а на взаимодействии этих способностей, на переходах от одной к другой.

Что такое ум с нашей точки зрения? С точки зрения физиологов особенность работы мозга состоит именно в том, что он способен менять деятельности, заканчивающиеся качественно очерченными эффектами, с невероятной быстротой в зависимости от быстрого синтеза существующей в данный момент обстановки. Эта смена деятельности основана на том, что мозг имеет фактически безграничные возможности формирования новых комбинаций. Это орган, который создан в эволюции таким образом, что он всегда развивался с опережением текущих событий действительности. Это очень интересное свойство мозга.

Желая показать способности мозга, А.Н.Колмогоров приводил пример, что можно взять человека, жившего 3000 лет тому назад, не видевшего нашей культуры, и он может быть после соответствующей тренировки не хуже любого современного математика. Такие примеры есть.

Один из путешественников в северной части Южной Америки был в племени карибов и привез оттуда детей. Родители этих детей считали только до двух, а когда им предлагали сосчитать до трех, они засыпали. Оказалось, что эти детишки, отданные в школу, по своим способностям опередили европейских детей.

Для нас, физиологов мозга, никакой сенсации в этом нет. Мы знаем, что возможности мозга в его молекулярных связях безграничны. Часто говорят: мозг содержит 14 миллиардов клеток. И это широкую публику удивляет. Действительно, клеток много, но это не диво. Самое важное, что эти 14 миллиардов клеток так построены, что каждая клетка на своей мембране имеет тысячу контактов с другими клетками. И более того, каждый из этой тысячи контактов может отразить еще тысячу разных химических реакций.

Теперь можно представить себе, какое количество возможных пластических комбинаций может получить мозг при столкновении с внешними условиями, с окружающей средой.

О чем идет речь при сравнении человека с машиной? О деятельности и их взаимоотношениях. Это самое главное для физиолога мозга.

При всякой попытке сопоставить машину и человека, при всякой попытке сопоставить машинную деятельность и мозговую деятельность надо говорить о деятельности, определить качество и конечную форму данной деятельности. Если мы подойдем к этому таким образом, то увидим, что мы в минуту производим сотни деятельностей и больше, вообще отдельных очерченных деятельностей гораздо больше, чем клеток. Если бы была сконструирована машина, которая совершала бы хотя бы две качественно очерченных деятельности и произвольно переходила бы от одной деятельности к другой, то это было бы исходной предпосылкой для того, чтобы мы начали сопоставлять возможности машины с деятельностью человека.

Как отмечалось выше, по отдельным параметрам человеческого мозга и его деятельности мы можем создать более совершенные машины.

Возникает вопрос, чрезвычайно интересный как в философском плане, так и в плане конкретной, аналитической науки, всякой науки.

Возьмем категорию качества как категорию диалектического материализма. Устраняется ли качество при нашей попытке внести машинный подход к живому процессу или нет? Нет, не устраняется. Качество как категория, определяющая скачкообразный переход в движении материи, остается философской категорией. Но мы вступили в эпоху развития науки, когда качество должно быть понято в параметрах точных математических, физических наук.

Если говорить об общем знаменателе, к которому кибернетика подводит все явления, т.е. о распространении информации, преобразовании информации с ее кодированием и математически обосновываемыми параметрами, то мы можем подойти к качеству и с этой точки зрения. Если кто-то скажет, что качество нельзя уже дальше изучать и характеризовать более тонко, то это будет неправильно. Как верно подчеркнул А.Н.Колмогоров, если мы имеем новое качество в развитии материи, то это новое качество может быть и должно быть выражено во всех понятиях, которые входят в теорию информации, в понимании параметров, в понимании физико-математических величин и т.д. Но этот подход не снимает качественной особенности, давая ей лишь конкретное выражение.

Если бы по этой линии возник спор, то он был бы не обоснован. Конечно, нужно уточнить позицию каждого из нас, уточнить, что мы думаем о параметрах, об информации, когда происходит качественный переход одной формы движения материи в другую. Однако это не есть водораздел идеологический, как некоторые думают.

И предпоследний вопрос — целесообразность. Для нас, физиологов, физиологов мозга в частности, целесообразность — это то, что мы видим ежеминутно, ежесекундно, и нам понятны заблуждения, когда эта целесообразность становилась основой для развития виталистических концепций, когда на сцене появ-

лялась "жизненная сила", которая этой целесообразностью ведает. Теперь во многих областях физиологии расшифровали эту целесообразность, и она стала для нас таким же материальным процессом, в котором причины и следствия во всех случаях абсолютно изучены и объективно познаваемы. Поэтому целесообразность в нашем понимании по своей сущности уже не отвечает тому понятию, которое было формулировано вначале.

С того момента, когда на нашей планете на основе различных превращений неорганической материи возникла жизнь, естественно появились и критерии ко всему действующему на это живое. Неорганическая материя не могла иметь критерий относительно внешнего воздействия, целесообразно оно или не целесообразно. С появлением жизни появился и критерий: сохранит или истребит. Поэтому мы можем считать целесообразным именно то, что стабилизирует жизнь, закрепляет устойчивость ее форм, уже найденных в эволюции и сохраненных естественным отбором.

Если мы вернемся к мозгу, то мы можем сказать, что он кумулировал эти формы соотношения в специальном аппарате, который так же материален, как и все процессы, протекающие в пробирке. Мы видим также границы этого процесса и в этом отношении убеждены в принципиальной возможности воспроизвести отдельные механизмы и способности мозга.

В этом заключается одно из многих разногласий с кибернетиками: они не хотят видеть, отчасти потому, что нет достаточной взаимной информации, тех факторов, которые мозг накопил в себе на протяжении всей истории. Это предвидение будущего, опережение настоящего в своем действии, приспосабливающем организм к будущим событиям.

Возьмем, например, то, что мы все ежедневно переживаем, — цель действия, замысел, намерение, которым мы начинаем наше утро и которым мы кончаем наш день. Каждый наш шаг ознаменован сменой целей, больших или малых, но цели ставятся ежесекундно. Что такое цель? Это всегда скачок возбуждения по структурам мозга, по связям, по его системам, скачок в будущее. Это формирование таких процессов, внешних событий которых еще нет, но которые могут соответствовать будущим внешним событиям. Это происходит потому, что человек имеет

прошлый опыт, я имею память, я имею те "кладовые", из которых черпается возможность предсказания будущего, и т.д. Это все совершенно материальные процессы.

Иногда в разговорах с математиками и физиками приходится слышать в ответ на это ироническое замечание: итак, вы говорите, что машина, которая ставит себе собственные цели, неосуществима. Обычно я отвечаю: я не говорю, что она неосуществима, но не вижу конкретных материалов и механизмов для конструирования такой машины.

Есть такие машины, которые ставят себе цель, но здесь предмет спора другой. Эти машины меняют свою деятельность в пределах заданной им конструкции. Вот если бы машине, выделывающей гильзы, надоело делать гильзы и она стала бы делать башмаки, это было бы другое дело. Это, конечно, грубый пример, но ведь мы-то, люди, делаем это ежечасно, ежеминутно. Человек хотел пойти в театр — идет дождь; отказывается от театра, идет к знакомым и т.д. — человек меняет деятельности, ежеминутно и ежесекундно ставит перед собой цель в зависимости от того афферентного синтеза, который осуществляет его мозг в данной ситуации, сложившейся в данный момент.

Вот если была бы создана машина, которая так же синтезировала бы окружающую обстановку и каждый раз производила бы новые действия, подчиняясь интересам своей "жизни", своего "тела", своего "здоровья", то это было бы основанием для сопоставления машины и мозга. Для мозга характерна именно смена деятельностей, но мне еще не приходилось видеть машины, которая меняла бы качественно различные деятельности, одну за другой, в зависимости от того, как сложится на данный момент внешняя ситуация.

В этом смысле даже самая "умная" машина будет "глупее" ползающего по полу ребенка. И когда мы спрашиваем, умнее или не умнее человек машины, мы обычно подразумеваем именно этот пункт. Разве человек может превосходить микроскоп по своему зрению? Конечно, нет, несомненно, данная машина в этом отношении "умнее" человека. Но человек приспосабливается к миллионам складывающихся внезапно ситуаций. По этим миллионам ситуаций человек идет всю жизнь, осуществляя свою

жизненную цель, — вот пункт, в отношении которого должны производиться сравнения, вот что надо вкладывать в слово "умнее". Именно по этому признаку мы должны сопоставлять машину и человека, но, к сожалению, до сих пор не имеется таких сопоставлений, которые были бы достаточно разумными и научно обоснованными.

И последний вопрос — что дает кибернетика физиологу мозга и что дает физиолог мозга кибернетике? Нет сомнений в том, что мы, физиологи мозга, очень многим обогатились и обогащаемся благодаря тем подходам и особенно той манере мышления, которые применяются кибернетиками, математиками и физиками.

И.П.Павлов вскрыл грандиозные закономерности в работе мозга, но он никогда не занимался химией и даже не любил ее. Однажды, когда автор предложил исследовать химический состав крови на стадии активного действия брома на нервную систему, он сказал: "Я не вижу в этом ничего хорошего, бросим этим заниматься". Тем не менее он раскрыл такие важные закономерности жизни мозга, как предсказание будущего, фактическое овладение будущим.

Математика, особенно кибернетика, дает возможность разработать некоторые модели и схемы, которые позволяют понять внутренний механизм этого предсказания будущего с тем, чтобы от этих внутренних механизмов вернуться к синтезу и понять организацию работы мозга как целого.

Прогресс нашего дела будет состоять именно в том, чтобы эту изумительную машину — мозг — с ее экономной, надежной организацией использовать для своих конструкций, для своих моделей. А что мозг работает экономно, это можно доказать на любом примере, и таких примеров — тысячи.

Подумать только, какие-нибудь пять нервных клеток нашего мозга, которые с трудом можно рассмотреть в микроскоп, могут заставить нас ощущать жажду, лезть в колодец, идти на реку, таскать ведра, и все для того, чтобы напиться, чтобы удовлетворить эти возбужденные клетки. Чувство жажды формируется именно этими пятью клетками. Жажда формируется этими клетками потому, что генетически они награждены тонкой чувствительностью к осмотическому давлению, которое всю жизнь ос-

тается на одном уровне. При определенной степени изменения осмотического давления крови эти клетки начинают рассеивать возбуждение — тревогу по всем направлениям в аппаратах мозга, создавая ощущение жажды.

Можно не сомневаться в том, что проблемы кибернетики в их связи со всей жизнью нашей страны займут у нас достойное и гораздо более высокое место, чем в других странах. Залогом такой победы являются диалектическая методология, помогающая видеть перспективы предмета, и те конкретные физиологические достижения, которые задолго до развития кибернетики вывели нас на путь формулировки ряда положений, ставших потом основой кибернетики.

ПРИНЦИПЫ И ПОДХОДЫ К МОДЕЛИРОВАНИЮ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ ОРГАНИЗМА[1]

Философский смысл кибернетических закономерностей состоит в том, что они имеют универсальный характер и могут быть приложимы к явлениям различного класса. Этот факт немедленно должен возбудить вопрос о том, какие общие законы развития мира смогли определить такие универсальные закономерности. Теперь едва ли у кого-нибудь возникнет сомнение, что кибернетика действительно занимает постепенно все более и более широкие позиции как наука о всеобщих принципах функционирования систем-машин, организмов и общества. Это находит отражение в целом ряде несомненных достижений.

Взять к примеру хотя бы теорию информации, одержавшую самую большую победу на фронте развития наук. Теперь эта теория является всеобщим инструментом анализа процессов и явлений действительности.

Точно также теория обратной связи является одним из достижений кибернетики, которое охватило все области знаний, в особенности медицину.

Вместе с победами кибернетики нарастает некоторое беспокойство в отношении философских обобщений, которые значительно отстают от развития ее частных применений в различных направлениях. Эту обеспокоенность высказывает целый ряд ученых. Винер, Р.Эшби, Оппенгеймер и многие другие говорят, что мы стоим перед моментом, когда должны искать общий ключ для огромного половодия достижений, которые тесно связаны с кибернетическим направлением во всех науках. В этом отношении особенно интересную мысль высказал Оппенгеймер, что чем больше мы получаем фактов, тем острее мы чувствуем свое невежество, потому что все время нарастает ощущение того, что

---

[1] В кн.: Моделирование в биологии и медицине. — Л., 1969. — С. 50—60.

объять все невозможно, а общий подход к этим явлениям не найден.

Таким образом, обеспокоенность состоит именно в отсутствии общих принципов, которые могли бы объединить явления в различных областях научных знаний.

Эшби говорит, что нужны изыскания наилучшей логики механизмов. Давая интервью относительно будущего науки в 1964 г., Винер говорил, что главная линия, по которой пойдет развитие биологии, это поиски систем.

Таким образом, несмотря на огромные достижения во всех областях кибернетики, ее философская сторона, именно принцип обобщения, который бы помогал нам определять огромное количество фактов, является наименее исследованной, а я бы сказал — бедно разработанной.

Вот почему организацию такого симпозиума в Ленинграде, в центре научной физиологической мысли и большого количества специалистов по кибернетике, я считаю и своевременным, и нужным.

Естественно возникают вопросы, что же в кибернетике требует философского обобщения. Что является тем узлом, из которого могут быть раскрыты особенности и перспективы моделирования: теория информации, теория обратных связей или нечто другое?

Лет 10 тому назад этот вопрос был поставлен нами перед философами. Внимательно наблюдая за литературой, надо сказать, что не видно серьезных попыток подойти к его разрешению.

Первый вопрос такой: как могло случиться на нашей планете, что в истории развития таких различных классов явлений, как организм, общества и машины, качественные различия функционируют в одной и той же архитектуре, по одному и тому же типу системы обратных связей, которые характерны как для организма, так и для общества и искусственных машинных систем. Я считаю этот вопрос философским, потому что он восходит к началу явлений, к тому моменту, когда создавались различные классы этих явлений. С точки зрения широкого подхода мы должны считать, что начало лежит именно в том моменте развития на земле живого, когда это живое приобретало наиболее характерные для него свойства.

В диалектико-материалистической философии, согласно Энгельсу, жизнь есть форма существования белковых тел. Между тем, сейчас все больше и больше набирается фактов за то, что не это начало жизни. Если говорить о жизни, что она появилась и развивалась в процессе эволюции на разных этапах. Никто не сомневается в этом, и действительно формула Энгельса остается исходной, что жизнь — это есть форма существования белковых тел, но акцент сейчас перебрасывается от субстратной теории происхождения жизни в динамическую.

Это обстоятельство заставляет сосредоточить внимание на вопросе, когда же зарождались те закономерности, которые наиболее адекватно могут быть описаны в терминах кибернетического направления.

Можно попытаться представить, что формирование первичной динамической системы могло наступить даже в предбелковую стадию. Я имею в виду такую схему динамической самоорганизации, которая представляет собой так называемое аустеническое ингибирование, когда конечный продукт какой-то реакции влияет на состояние реагирующей системы. Это очень элементарная модель (схема) для уже полностью созревших кибернетических закономерностей.

Вопрос состоит в том, могла ли такая модель получиться в неисчислимых комбинациях первородного океана и может ли стать потом основой, которая в дальнейшем обрастает всеми возможными усовершенствованиями до белка включительно и, наконец, до появления жизни.

Модель эта взята из простой химической реакции, в которой карбомилфосфат является исходным продуктом. По механизму своеобразной обратной связи концентрация конечного продукта ацетилтифосфата воздействует на всю взаимодействующую цепь веществ.

Принципиально только такая система в процессе эволюции может обрастать усовершенствованиями, которые приведут к саморегуляторному принципу формирования самого жизненного субстрата.

Я не специалист в биохимии и использую этот материал только потому, что он соответствует общему ходу мыслей о закономерностях, упомянутых вначале.

Если принять во внимание ряд тепловых, химических и других

воздействий на эту систему, то можно, как показывают опыты, получить доказательство, что в ферментной системе, регулирующей эту реакцию, имеются две рецепторные субстанции: одна для субстрата, вступающего в реакцию, а другая для конечного продукта. Воздействие на эту субстанцию тормозит выработку конечного продукта.

В этом факте химической стабилизации мы имеем пример, показывающий большие возможности для построения замкнутой и стабильной системы. В этом состоит сущность моей идеи, что при оценке возникновения жизни необходимо переместить наше внимание от субстрационной теории происхождения жизни в сторону динамики происхождения механизмов стабилизации систем, с помощью которых в процессе эволюции формируется целый ряд других качеств и свойств. Как только появилась устойчивость, так сейчас же она стала помогать отбору. Все, что помогает устойчивости, прилипает к этой системе, обогащает ее.

Таким образом, первая точка зрения, которую я хотел бы рассматривать как некое распространение диалектически-материалистического представления о формуле жизни, — это то, что субстратное и динамическое в развитии жизни шло параллельно. Динамика есть первый момент устойчивости системы, который впоследствии в процессе эволюции обрастал дополнительными свойствами и в конце концов развился в ту жизнь, о которой мы уже знаем как биологи и физиологи.

Динамическая система только потому может быть устойчивой, что она обладает результатом, который способен воздействовать на ее состояние в целом. Наличие у самых первичных систем результата действия, определяющего распределение сил в системе, надо считать, является вторым кардинальным свойством всего того, что мы моделируем, изучаем и познаем методами каждой специальности.

Таким образом, ясно, что понятие системы, которое Винер в 1964 г. выдвинул как центральное для развития биологии и физиологии, должно включать в себя эти параметры. Как известно, в нашей лаборатории уже с 1935 г. систематически изучались и моделировались функциональные системы.

Таким образом, если исходить из этого, то результат должен быть поставлен на первое место при любых методах изучения систем и их отдельных свойств.

Это положение хотелось бы иметь предметом философской дискуссии. Если обратиться к переведенной на русский язык книге Бунге "Причинность" (1962), то там можно найти указание. До сих пор существует смешение действий с результатом действий. И это не случайно. Мы говорим: чесательный рефлекс, хватательный рефлекс, мигательный рефлекс. О чем говорят эти термины? Произошло чесание, произошло хватание, произошло мигание. А где результат для организма — это совершенно скрыто. Поэтому сейчас в кибернетике обращается особое внимание на анализ эффективной работы систем, т.е. результатов их деятельности. Несомненно, что функция результата должна быть параметризирована. Это необходимо не только для понимания организации всей системы, но главным образом для ее количественного описания и моделирования.

Исходя из всего этого, надо сделать попытку сформулировать принципы модели поведения живых систем и в особенности поведенческого акта на высшем уровне. Только в этом случае модель может стать действительно инструментом для постановки новых вопросов исследования и для обработки и понимания уже накопленных материалов.

Такую попытку мы сделали много лет тому назад, разработав теорию функциональной системы. В последнем варианте эта теория позволяет понять механизмы организации всех актов организма, имеющих то или другое полезное приспособительное значение.

Первая стадия, которую мы считаем универсальной для каждого акта, названа нами "афферентным синтезом". Она состоит в том, что афферентации самого различного характера обрабатываются и сопоставляются таким образом, что в конечном итоге возникает постановка цели к действию с огромным количеством степеней свободы. Конечно, это логическая формулировка. На самом деле, изучая поведение нейронов, нами было установлено, что органическое слияние афферентаций происходит в нервном субстрате. Оказалось, что очень сильное мотивационное возбуждение на нейроне занимает свои характерные позиции. Ведущие свойства приобретает доминирующая в данный момент позиция. Так что решение возникает как результат сопоставления всего идущего от внешнего мира на фоне этой ведущей мотивации.

Я хочу сформулировать одно положение и хотел бы, чтобы оно было правильно понято, поскольку действительно это изменяет наше представление о ходе корковых процессов. В коре головного мозга все возбуждения, восходящие из подкорки, прежде всего встречаются на одном и том же нейроне, и только в последующем эти нейроны уже начинают вступать в интегральные взаимоотношения между собой. Таким образом, вся корковая деятельность должна быть расчленена на две стадии: первая стадия — встреча возбуждения на нейронах. Эти процессы сейчас постепенно расшифровываются, к сожалению, в настоящем сообщении нет возможности дать подробную физиологическую характеристику этих явлений.

Следующий этап заключается в формировании аппарата предсказания результатов, т.е. выработка наиболее вероятностных параметров будущих результатов. И только тогда, когда окажется согласованность между параметрами и "предсказанного" результата и параметрами действительного результата, воздействующего на ц.н.с. через механизмы обратной афферентации.

Если же здесь результат не соответствует этому заготовленному возбуждению, то начинаются новые внутрицентральные перестройки, смысл которых состоит в поиске новой активной афферентации. Комбинируя изучение поведенческих актов с микроэлектродным исследованием, мы показали, что эта стадия характеризуется непрерывной реверберацией.

Почему эта разработанная нами модель действенна? Почему она оказалась для нас прогрессивной? Потому, что мы не знаем теперь общей афферентации, мы говорим об афферентации пусковой, мы говорим об афферентации, которая заканчивает процесс анализа информации о полученных результатах.

Следовательно, результаты есть центральный пункт всей функциональной системы. Они влияют обратно на аппарат, и если они недостаточны, то подбираются новые компоненты для построения более успешной программы действий.

Это обстоятельство я хочу подчеркнуть и для моделирования, поскольку вопрос о модели — это прежде всего построение подобия какого-то процесса или во всяком случае аналогичных состояний, всегда почти минует эту важную проблему. Ни одна система не может быть подобна биологической системе, если ее результаты не становятся наперед, если параметры этого резуль-

тата не рассчитываются заранее и потом вся система не моделируется в соответствии с этими параметрами.

Главное, на что я хотел бы обратить внимание, что моделирование результата функционирования системы значительно меняет наши представления об основных законоположениях кибернетики.

Следовательно, перед нами неизбежно должен встать вопрос относительно формулировки понятия "система".

Каковы наиболее характерные черты параметров системы, если мы хотим говорить об этом предмете в философском смысле? И второе — какие параметры этой системы могут быть продуктивными для дальнейших исследований?

Когда Эшби говорил о моделировании, то он очень хорошо выразился, что мы должны разработать логику упрощения. Это не случайное выражение. Действительно, если мы не договоримся о логике упрощения при построении модели, то мы не будем знать, какие параметры мы должны сохранять, какие параметры не влияют на подобие модели и т.д.

Если все это обсудить, то и сам вопрос о результатах выступает на первый план, и я возвращаюсь к той первичной схеме, которую я взял как реальную модель из части обменных процессов в предбиологическом периоде организации устойчивости самоорганизующейся системы. И там уже результат является доминирующим и определяющим устойчивость системы моментом.

Я хотел бы остановить ваше внимание на одном эпизоде, который как раз говорит о том, насколько моделирование будет несовершенно, если вопросы большой архитектуры поведенческих актов и биологических реакций и вопросы получения результата оставить в стороне.

В микроэлектродных исследованиях нашей лаборатории тщательно изучалась природа конвергенции афферентаций на отдельные нейроны. Были показаны различные виды конвергенции: мультисенсорная, сенсорно-биологическая и другие.

С точки зрения модели нейрона, тут есть входы и положительные и отрицательные и, казалось бы, что этого достаточно для моделирования. Но здесь любая афферентация и конвергенция имеют свой функциональный смысл, никак не различающийся только в количестве синапсов или в качестве того воздействия, которое имеется.

Вот почему я считаю, что моделирование нейрона, пока оно останется на уровне нейрона и будет иметь только комбинации входных притоков возбуждения, вряд ли достигнет уровня моделирования и понимания процесса в целостном поведенческом акте.

Эти данные показывают, насколько несовершенно моделирование нейрона, основанное только на комбинациях возбуждающих и тормозящих входов.

Если с этой точки зрения посмотреть на некоторые кибернетические закономерности, то окажется, мы должны многое рассматривать несколько иначе, чем это было раньше. Возникает вопрос, может ли в биологической системе или в каком-нибудь весьма малом отрезке этой системы информация протекать вообще как информация? Нет, в любой системе, которая дает конечный результат, любая информация, так или иначе связана с ним, т.е., короче говоря, любая часть информационного процесса в системе будет содержать эквивалент будущего, еще не совершившегося результата. Таким образом, совершенно очевидно, что в системе не может быть нейронов, не перерабатывающих информацию о результатах того или иного рефлекторного действия.

Это мы особенно подробно изучали в дыхательном акте: информация о возбуждении дыхательного центра, в котором закодирована команда о вдохе 500 мл воздуха, сохраняет свою количественную характеристику при передаче в любые участки центральной нервной системы.

Возьмем другое направление кибернетики, связанное с анализом и конструированием надежных систем из ненадежных элементов. Вы знаете, как часто мы это говорим. Но если вдуматься в это, то оказывается не может быть надежной системы принципиально, если ее элементы ненадежны. Система неизбежно должна быть "ненадежной", т.е. пластичной, она должна обязательно перестраиваться, как только изменяется любой ее компонент, т.е. эта ненадежность, которая, как мы говорим о компоненте, распространяется непременно на систему. А что надежно? Надежен результат. Вот ненадежная система, получающая надежный результат, и есть самоорганизующаяся пластичная система.

Значит, выражение "из ненадежных элементов построить

надежную систему" по самому своему существу неправильно и должно быть соответствующим образом изменено.

Приведу пример из области физиологии. Когда-то один ученый проделал эксперимент с кроликом. Отсекая все четыре конечности, предварительно выработал определенную пробежку к определенной кормушке. Кролик без конечности посредством вращательных движений тела приближался к той же самой кормушке.

Здесь другая система, она вся изменена, но всегда надежен результат. Вот с этой точки зрения очень важно в исследовательском плане переключить внимание на результат, который любую самоорганизующуюся систему делает надежной при ненадежных компонентах. Так что результат является центральной фигурой в любой системе.

Таким образом, я в своем кратком сообщении хотел сконцентрировать внимание на том, что нельзя надеяться на построение модели максимально совершенной без учета следующих факторов:

1. Результат в любой модели должен быть первым шагом, с чего начинается расчет и построение модели.

2. Любая модель частичного характера должна быть частью пункта в большой архитектуре поведенческого акта или в большой архитектуре функциональной системы. Только тогда можно правильно сформулировать все компоненты. Кстати, в этом мы убедились сами, когда моделировали дыхательный акт со всеми его деталями, руководствуясь и этой схемой при построении такой модели.

3. Любое моделирование любого результата должно проверять соответствующий результат на внезапном изменении препаратов системы, что будет показателем ее способностей самоорганизовываться и достигать того результата, который был задан ранее.

Итак, анализ основных узловых механизмов саморегуляторных приспособлений живых систем приводит к выводу, что уже момент возникновения на нашей планете первичных живых систем связан был с закономерностями кибернетического характера. Организация приспособлений к окружающим условиям у живых организмов привела к весьма выраженному универсальному зна-

чению результата деятельности живых систем. Именно поэтому результат стал неотъемлемой частью любой самоорганизующейся системы и играет доминирующую роль во всех перестройках системы.

Понятие результата в настоящей философской литературе все больше и больше привлекает внимание. Наоборот, полное забвение этого понятия во всех сложных физиологических экспериментах способствует задержке понимания общих закономерностей жизни. Как говорит аргентинский философ Бунге, "Смешение действия с результатом свойственно не только философам, но и является недостатком нашей обыденной речи" (Бунге, 1962).

Все эти факты делают результат деятельности какой-либо системы самостоятельной физиологической категорией и требуют активного биологического и математического исследования.

Проблема моделирования какой бы то ни было системы неизбежно связана в теоретическом плане с понятием "система". Широко распространено представление о том, что системы могут состоять из любого достаточно большого количества компонентов. В противовес этому положению мы выдвигаем представление о системе как о любой (большой или малой) совокупности компонентов, связанных достижением общего полезного результата.

Моделирование биологических систем прежде всего должно идти от параметрирования результатов и от оценки судьбы этих параметров в масштабах целой центральной нервной системы. Анализ общепринятых кибернетических закономерностей по критерию полезного результата системы делает очевидным, что разработка и практическое применение модели живых систем неизбежно должны начинаться с оценки результата системы. Без учета параметров результата и без анализа многосторонних воздействий этого результата на всю систему модель не может отразить наиболее существенных черт живой системы.

ФИЛОСОФСКИЙ СМЫСЛ ПРОБЛЕМЫ ЕСТЕСТВЕННОГО И ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА[1]

1. ВСТУПЛЕНИЕ

Трудно назвать более интересную научную проблему, чем проблема познания мозга, его глобальных механизмов и его молекулярной природы. Прямым следствием развития этой сферы знания должно быть разумное управление мозгом в будущем, а также использование законов его деятельности для конструирования различных механизмов, составляющих основу технического прогресса в нашу эпоху.

Когда один из корреспондентов спросил "отца кибернетики" Норберта Винера, допускает ли он возможность того, что высокоорганизованные "интеллектуальные машины" смогут в будущем поработить человека, Винер не без иронии ответил: "Если это и произойдет, то только по вине человека..."

И вопрос, и ответ подчеркивают крайнюю злободневность проблемы естественного и искусственного интеллекта. Дело в том, что некоторые кибернетики полагают, будто можно все смоделировать и даже создать машины, которые по своим интеллектуальным качествам превзойдут человека. Такие надежды широко распространены среди физиков, математиков, электроников. Однако здесь допускается серьезная логическая ошибка, суть которой будет разъяснена в данной статье.

Несмотря на важность проблемы интеллекта, переход от изучения фундаментальных проблем мозговой деятельности на уровне интеллекта к использованию результатов исследований в технической кибернетике пока еще наталкивается на серьезные препятствия: отсутствует достаточно полная модель искусственного интеллекта, соответствующая современным представлениям о деятельности мозга в естественных условиях.

---

[1] Вопросы философии, 1973, № 6, с. 83—97.

Проблема естественного и искусственного интеллекта ставит перед нами также и целый ряд вопросов философского характера. Действительно, тезис материалистической философии — "материя первична, сознание вторично" — устанавливает органическую историческую связь между этими феноменами, поскольку мы знаем, что неорганический мир существовал задолго до появления жизни на нашей планете и, следовательно, интеллект должен был неизбежно отразить законы неорганического мира и "вписаться" в них. Но если это так, то все свойства интеллекта должны были развиться на базе предшествующих органических форм и, естественно, должны быть приспособлены для оперирования объектами внешнего мира.

Иначе говоря, естественный интеллект — в примитивной форме — интеллект животных и в высшей форме — интеллект человека — неизбежно должен действовать на основе объективно познаваемых процессов и механизмов. Рассматривая этот вопрос в философском аспекте, мы можем сказать, что изучение искусственного интеллекта является одним из важнейших этапов познания материальной природы психических явлений и, следовательно, способствует дальнейшему развитию философии диалектического материализма.

Ясно, что надеяться на создание искусственного интеллекта можно только после создания достаточно солидного "концептуального моста", который даст возможность максимально использовать наши фактические знания о принципах работы мозга.

2. ВАЖНЕЙШИЕ ЧЕРТЫ ИНТЕЛЛЕКТА И ИХ ХАРАКТЕРИСТИКА

В последние годы в связи с попытками конструирования искусственного интеллекта исследователи столкнулись с необходимостью определения самого интеллекта и выявления его характерных черт. Без этого невозможен контакт между нейрофизиологами, психологами и специалистами по технической реализации основных черт интеллекта в моделях и рабочих конструкциях.

Успех Маккаллока в создании искусственной нейронной сети объясняется как раз тем, что он наиболее четко выделил некоторые характерные логические черты мозговой деятельности и использовал их для конструкции распознающего и "мыслящего"

устройства[1]. Благодаря этим исследованиям проблема искусственного интеллекта стала широко разрабатываться именно нейрокибернетиками, а не нейрофизиологами. Последние продолжали оставаться на позициях классической нейрофизиологии с господствующей в ней "рефлекторной" манерой мышления, не дающей возможности понять решающие свойства, характерные именно для интеллектуальной деятельности. Естественным следствием этого была неопределенность в понимании нейрофизиологических свойств интеллекта и отсутствие научно обоснованных формулировок. Это обстоятельство значительно затруднило контакт между психологами, нейрофизиологами и кибернетиками.

Конструкторы искусственного интеллекта все чаще и чаще подходили вплотную к изучению как раз тех свойств мозга, которые физиологи в своих исследованиях даже не затрагивали.

Пожалуй, Марон был первым из кибернетиков, кто пришел к выводу, что не может быть и речи о понимании интеллекта вообще и о конструировании "интеллектуальной машины", если эта система не будет обладать способностью к предсказанию[2]. Сопоставляя человеческий мозг с наиболее совершенными машинами кибернетического характера, он особенно отчетливо сформулировал их различие: способность к предсказанию у мозга и отсутствие этой способности у машин.

Условный рефлекс, по И.П.Павлову, несомненно, основывается на предсказании, поскольку условная реакция имеет "предупредительный" характер. Как показал наш анализ, в составе условного рефлекса имеется аппарат, который создается в процессе формирования рефлекса для оценки предстоящей ситуации, то есть акцептор результата реакции[3].

Однако нейрофизиологи совсем не затрагивают в своих ра-

---

1 См. *Маккаллок У., Питтс У.* Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности. Сб. "Автоматы", М., 1956; *McCulloch W.S.* Logic and Closed Loops for a Computer Junket to Mars. In "Neural Networks". Symposium. Ed. by E.R.Caianiello, N.Y., 1968; *MacCay D.M.* Operational Aspect of Intellect. In: "Mechanization of Thought Processes", Vol. I., L., 1959; *Минский М.* На пути к искусственному интеллекту. ТИРИ, № 49, 1961.

2 "I.R.E. Transactions of Information Theory", 1962, Sept., Vol. It-8, № 5.

3 См. *Павлов И.П.* Полн. собр. трудов. Т. IV. Лекции о работе больших полушарий головного мозга. М.—Л., 1947.

ботах этой проблемы, поскольку господствующий принцип в понимании нервной деятельности — принцип рефлекторной дуги — полностью исключает саму возможность предсказывать будущее.

Суть дела в следующем: нервное возбуждение, вызванное раздражением какого-либо рецептора, согласно рефлекторной теории, распространяется по "рефлекторной дуге" на основе линейно-поступательного принципа, то есть от пункта к пункту. Между тем по самой своей сути предсказание предполагает "забегание вперед", опережение хода возбуждений: в самом начале появляются процессы и физиологические аппараты, которые должны проявить себя лишь в заключительной стадии рефлекторного действия[1].

На этот вид нервной деятельности указывал О.Аттли[2]. Описывая конструкцию управляющих механизмов, он отмечал: "...Вычислитель может непрерывно подсчитывать для каждого управляющего движения, которое опробовалось раньше, вероятность того, что оно приведет к цели"[3]. Говоря о цели, к которой ведут все движения, Аттли тем самым подчеркивает ее направляющее влияние на те действия, которые приближают будущие события.

Наиболее полно роль цели и предсказания рассмотрена в книге Л.Фогеля, А.Оуэнса и М.Уолша[4].

Определяя понятие "искусственный интеллект", авторы стремятся найти те характерные признаки, которые могли бы быть общими и для естественного, и для искусственного интеллекта. Они совершенно правильно, на наш взгляд, сосредоточивают внимание не на тонкости, четкости и быстроте выполнения отдельных операций, а на логике механизмов, составляющих интеллект. Среди этих механизмов на первый план они ставят

---

1 См. сб.: Проблема центра и периферии в физиологии высшей нервной деятельности. — Горький, 1935; *Анохин П.К.* Узловые вопросы в изучении высшей нервной деятельности. Сб.: Проблемы высшей нервной деятельности. — М., 1949, с. 9—128.

2 См. *Аттли О.А.* Механизация процессов мышления (заключительная речь). Сб.: Самоорганизующиеся системы. — М., 1964, с. 430—434.

3 Там же, с. 432.

4 *Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. — М., 1969.

механизмы "принятия решения" и "предсказания", то есть формирования цели. Авторы считают, что будет "...более содержательным определять интеллект в терминах поведения некоего стремящегося к цели существа и измерять степень его интеллекта по адекватности принимаемых им решений"[1]. Таким образом, мы видим, что определение интеллекта охватывает наиболее сложные формы поведенческой деятельности: цель, "принятие решения", предсказание. По сути дела, это верно. Однако недостаток такого определения состоит в том, что существенные и характерные для интеллекта факторы просто перечисляются, а не даются в той логической связи и последовательности, которая соединила бы их прочной нитью системного детерминизма.

И действительно, в приведенных выше определениях, как, впрочем, и во многих других, "цель" выступает как нечто наперед данное. А дальше начинает рассматриваться цепь поведенческих актов, направленных на достижение этой цели. Но как возникла сама цель? Какие факторы и какие материальные процессы предшествовали ее появлению и создали из нее материальный аппарат, направляющий специфическое стремление организма? Упомянутые выше авторы, а также и многие другие[2] эту фазу "предцели" совершенно не рассматривают.

То же самое можно сказать и о принятии решения. Какие факторы толкают организм на принятие именно этого, а не другого решения? Ясно, что в процессе принятия решения происходит непрерывный подбор наиболее адекватного для данной ситуации решения. Но как это происходит? На основе каких конкретных нейрофизиологических механизмов выбирается одна-единственная поведенческая степень свободы из миллионов возможных степеней?

Обычно все эти процессы исследуются отдельно, вне их логической связи в масштабе целого поведенческого акта, а потому иногда и правильно выделенные факторы естественного

---

1 *Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. — М., 1969, с. 19.

2 См., например, *Месарович М.* Теория систем и биология: точка зрения теоретика. "Системные исследования. Ежегодник 1970". — М., 1970; *Уотерман Т.Х.* Теория систем и биология: точка зрения биолога. Там же; *Sadovsky V.N.* The History and Perspectives of the Systems Approach Development and General Systems Theory. "International Congress of the History of Sciences (18—24 August, 1971)", — M., 1971.

интеллекта, как, например, "предсказание" (Фогель и другие), цель и принятие решения (Аттли), остаются изолированными фрагментами интеллекта, не связанными между собой логикой функционирования.

Оценивая нынешний этап в исследовании основных специфических характеристик естественного и искусственного интеллекта, мы можем сказать, что главным недостатком этих исследований является отсутствие универсальной модели, которая логически связала бы все этапы формирования интеллектуальных актов. Естественно, что эта модель должна достаточно полно отражать и нейрофизиологические механизмы каждого фрагмента интеллектуальных процессов.

Анализируя значение и содержание всех попыток моделирования интеллектуальных процессов на базе перцептронов, Ф.Розенблатт очень ярко отразил стремления тех, кто занят исследованием процессов "принятия решения".

"...В ближайшем будущем, — писал он, — потребуется, по-видимому, разработать целую программу психологических экспериментов с животными или людьми для пополнения наших сведений о характеристиках моделей. Когда это произойдет, модели фактически станут использоваться как "предсказывающие" устройства, способные вырабатывать определенные данные (вначале, возможно, довольно грубые), которые у людей до сих пор не наблюдались. Конечным использованием модели мозга с точки зрения психологической ценности как раз и являются эксперименты такого рода, в которых модель правильно предсказывает явления, еще не открытые в биологических системах"[1].

Как видим, Розенблатт возлагает весьма большие надежды на модели мозга типа "предсказывающих" устройств. Однако, чтобы эти модели правильно предсказывали и правильно ориентировали в будущих явлениях, они должны заимствовать у мозга те его свойства и механизмы в форме акцептора результатов действия, которые дадут ему возможность формировать цель поведения, предсказывать сам результат поведения и ежесекундно контролировать и сличать полученный результат с поставленной заранее целью. Именно этими-то свойствами не обладает ни

---

1 *Rosenblatt F.* Principles of Neurodynamics. Washington, 1962.

одна из существующих моделей мозга, то есть искусственного интеллекта. Ясно, что такая удовлетворяющая исследователя модель может быть построена только при непременном использовании данных нейрофизиологии для постоянной коррекции работы этой модели.

Несмотря на то, что проблемам принятия решения, формулировки цели и предсказания в последнее десятилетие уделяется очень много внимания, все попытки создания искусственного интеллекта находятся лишь в самой начальной стадии.

Как известно, при изучении биологических систем в силу устоявшихся традиций принято считать, что любой поведенческий акт заканчивается действием. При этом полезный результат действия фактически никогда не включается в процесс как самостоятельная физиологическая категория. А между тем именно в том пункте лежит причина трагического взаимонепонимания между представителями весьма близких областей науки — нейрофизиологии и психологии. Для последней, как известно, цель и принятие решения стали необходимыми факторами в изучении интеллектуальных процессов.

Кибернетика внесла в психологию целый ряд смелых идей, которые заставили ее принять такие синтетические понятия, как цель, польза, предсказание и т.д.

Можно было бы назвать большое количество исследований последних лет, в которых детальнейшим образом разрабатывается проблема "принятия решения" в самых разнообразных ситуациях. Наиболее полные обзоры результатов изучения этой темы были сделаны на специальных симпозиумах[1].

Одним из значительных событий в исследовании характерных свойств интеллекта явилась организация во Франции Института "высшего синтеза", занимающегося изучением "принятия решения" и пути построения "искусственного интеллекта" (Institut des Hautes Syntheses Nice, France). На одной из последних сессий института (1971) специально обсуждался вопрос о соотношении естественного и искусственного интеллекта.

XX Международный психологический конгресс (Токио, 1972) провел особый симпозиум по проблематике "принятия

---

[1] См., например, "Decision Processes". Ed. by R.M.Thrall. N.Y., 1954.

решений" (Dynamic, Aspect of "Decision Making")[1]. В докладах У.Эдварса, Г.Экеля, М.Тода, М.Месика были еще раз поставлены вопросы об основных признаках принятия и выполнения решений. Экель акцентировал внимание также на физиологических коррелятах принятия решения и соответствующих ему положительных и отрицательных эмоциональных состояниях.

Все сказанное выше можно резюмировать следующим образом:

а) Большое внимание к проблемам искусственного и естественного интеллекта поставило перед специалистами различных областей науки актуальные задачи по изучению характерных черт естественного интеллекта и применения результатов этой работы к построению искусственного интеллекта. Сама возможность удачного решения этого вопроса сулит широкие перспективы прогрессивного развития многих областей экономики и промышленности.

Использование результатов таких исследований в электронике, медицине, педагогике и в других областях может привести к революционным сдвигам в этих науках. Поэтому весьма важно правильное понимание сути такого прогресса.

б) Несмотря на значительность проблемы, ее нынешнее состояние нельзя считать удовлетворительным. Нет четкого определения самого понятия интеллекта, его состава и решающих механизмов его отдельных операций. Наиболее синтетические и характерные для интеллекта узловые механизмы, такие, как "принятие решения", "цель", "предсказание", не только не изучены в их глубоком нейрофизиологическом содержании, но даже не вскрыты их операциональные взаимодействия в момент осуществления интеллектуальных актов.

Пожалуй, одним из самых существенных пробелов в изучении искусственного и естественного интеллекта является то, что не выявлено логическое единство в самой архитектуре интеллектуальных актов; не установлена детерминистическая связь между указанными выше узловыми механизмами интеллекта. Каждый из них берется для исследования как нечто отдельное, независимое от других свойств и механизмов интеллекта.

---

1 См. "XX Congress International de Psychologie. Guide Resume". Tokyo, 1972.

В последующих разделах статьи мы попытаемся применить для исследования этой проблемы системный подход в виде теории функциональных систем, разрабатываемой в нашей лаборатории на протяжении последних сорока лет.

3. ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ СИСТЕМА КАК ЛОГИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА

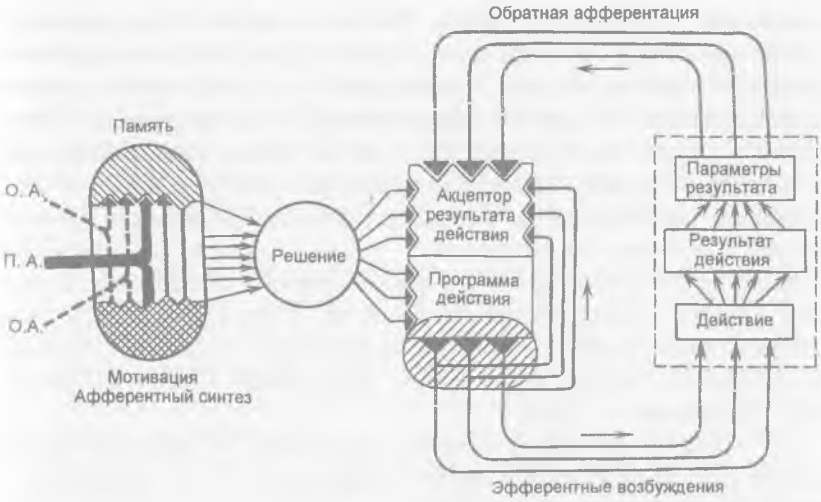
Как мы уже видели, одной из существенных тенденций современной нейрофизиологии является изоляция отдельных механизмов мозга для удобства экспериментирования над ними в целях изучения их свойств. Этот аналитический прием, общий для многих биологических наук, уже дал значительные результаты. Однако прием этот полезен и хорош только на определенной стадии научно-исследовательского процесса: при сборе первичных материалов и в период подготовки к широким обобщениям.

Все функции организма и особенно функции его нервной системы по своей природе являются логически целостными, и потому понимание их биологического смысла зависит от того "высшего синтеза", в котором выявится реальная роль каждого механизма в образовании кооперативного целого. Теория функциональной системы как раз и имеет своей целью выявить органическое единство механизмов, которые обычно исследуются в отдельности.

Много лет назад, изучая процесс компенсации нарушенных функций, мы увидели, что все сложные факторы деятельности, такие, как память, эмоция и цель, выступают в органическом единстве, и только это единство способно восстановить нарушенную функцию[1]. Такое функциональное единство в силу его системного характера было названо нами функциональной системой. Она представляет собой законченную единицу деятельности любого живого организма и состоит из целого ряда узловых механизмов, обеспечивающих логическое и физиологическое формирование поведенческого акта (см. рисунок).

---

[1] См. *Анохин П.К.* Проблемы центра и периферии в современной физиологии нервной деятельности. — Горький, 1935.



Общая схема функциональной системы как логической модели поведенческого акта в составе наиболее характерных узловых механизмов интеллектуальной деятельности.

Развитие поведенческого акта до стадии выхода афферентных возбуждений на периферии и формирования действия. Виден уже сформировавшийся акцептор результатов действия, осуществляющий предсказание свойств будущего результата.

Так как характеристика теории функциональной системы неоднократно давалась нами в различных публикациях, здесь будет дана лишь краткая характеристика ее узловых механизмов с точки зрения их важности для построения "искусственного интеллекта".

Функциональная система устраняет дефект имеющихся схем интеллекта. Как мы уже отмечали, механизм "принятия решения" большинством авторов рассматривается как нечто первичное и исходное для всех других процессов интеллектуального акта. Такой подход не может удовлетворить объективно мыслящего исследователя, поскольку принятию решения должен предшествовать весьма сложный процесс обработки весьма сложной информации.

Эта стадия интеллектуального акта была названа нами "афферентным синтезом" в связи с тем, что в процессе этого синтеза происходит одновременная обработка самой разнообразной информации, поступающей в центральную нервную систему из

внешнего и внутреннего мира. На этой стадии "предрешения" синтезируется целый ряд возбуждений. Как и весь поведенческий акт в целом, стадия "предрешения" формируется на основе доминирующей в данный момент эмоции или мотивации. Последняя, говоря психологическим языком, представлена желанием или потребностью. Такое доминирующее возбуждение, как показывают эксперименты на простых формах потребности (голод, жажда, половая потребность и т.д.), обладает способностью извлекать из многочисленных синаптических образований мозга все то, что было связано в прошлом с удовлетворением или разрешением именно этой, доминирующей в данный момент потребности (исследования наших сотрудников Судакова, Котова, Журавлева и других).

В процессе распространения возбуждения по нейронам мозга неизбежно привносятся и другие возбуждения — от совокупности факторов внешней обстановки.

Таким образом, и это было показано в эксперименте, на каждом нейроне коры головного мозга одновременно обрабатываются возбуждения трех различных источников: внутреннее возбуждение, связанное с формированием той или другой доминирующей мотивации, внешние возбуждения, представленные содействием данной обстановки, и возбуждения памяти, извлеченные как мотивацией, так и данной обстановочной афферентацией. Только одновременная обработка этих возбуждений и сопоставление всех комбинаций возбуждений с прошлым опытом дают возможность организму принимать то или иное решение для получения полезного результата.

Экспериментальные исследования свидетельствуют о том, что все упомянутые возбуждения, а иногда дополнительно и специальный пусковой фактор (например, условный сигнал) должны одновременно встретиться на одном и том же нейроне, правильнее сказать, на каждом из миллионов нейронов.

В стадии "предрешения", то есть афферентного синтеза, во всех случаях формирования поведенческого акта решается главнейший вопрос: какой полезный результат должен быть получен в данной ситуации и при данной комбинации составных возбуждений этой стадии.

Мы видим, что только строго научное исследование стадии "предрешения" может привести к совершенно четкому детерминис-

тическому объяснению и самого процесса принятия решения. Действительно, микроэлектродное исследование отдельных нейронов коры головного мозга показало, что этот процесс обработки всей исходной информации совершается при помощи многих динамических механизмов, биологический смысл которых состоит в том, чтобы выработать наиболее адекватное решение для данной ситуации и обеспечить наиболее точное его исполнение.

Так, например, активизирующие аппараты подкорковой области (гипоталамус, ретикулярная формация) обеспечивают образование ассоциаций и извлечение информации из памяти. Эти же активирующие возбуждения значительно повышают различные способы нервных элементов коры мозга и, в частности, способность к конвергенции на них разнородных возбуждений. К этому надо добавить еще усиление реверберации возбуждений между корой и подкорковой областями, благодаря которой осуществляется поиск наиболее продуктивного синтеза для предстоящего принятия решения (опыты А.И.Шумилиной). Таким образом, нам необходимо представить себе все то, что могут дать нам нейрофизиологические эксперименты для понимания механизмов принятия решения как одного из главнейших факторов формирования интеллекта.

4. НЕЙРОФИЗИОЛОГИЧЕСКИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ

Для понимания этого ответственного синтетического процесса в интеллектуальной деятельнсти мы должны представить себе отдельный нейрон и миллионы нейронов как образования, обладающие бесчисленным количеством степеней свободы, которые обусловлены способностью нейрона производить самые разнообразные конфигурации нервных разрядов.

Простой математический расчет показывает, что количество степеней свободы в масштабе целого мозга с трудом может быть записано цифрой длиной в 9,5 миллиона километров!.. Именно это количество степеней свободы головного мозга и представляет собой ту бесконечную клавиатуру, на которой разыгрываются сотни миллионов различных мелодий — поведенческих и интеллектуальных актов.

Итак, мозг и организм в каждый данный момент обладают необъятным количеством степеней свободы, одновременный запуск которых привел бы к чудовищному хаосу в поведении организма. Организованное поведение человека и животных предполагает неизбежное ограничение этого огромного разнообразия. Следовательно, принятие решения по самой своей сути представляет собой выбор одной степени свободы, наиболее адекватно удовлетворяющей требованиям данной ситуации. Суть проблемы заключается в том, каким образом мозг осуществляет выбор из миллиардов возможных одной-единственной степени свободы, дающей полезный эффект именно в данной ситуации.

Здесь необходимо коснуться вопроса, который обычно ускользает от исследователя, но который неизбежно возникает, если придерживаться системной точки зрения, то есть рассматривать весь процесс построения поведенческого акта в аспекте функциональной системы.

При внимательном изучении общей схемы последовательного действия узловых механизмов функциональной системы можно увидеть, что принятие решения ориентировано на тот результат, который соответствует доминирующей в данный момент мотивации. Наблюдения последних лет свидетельствуют, однако, о том, что в стадии афферентного синтеза из памяти извлекаются не только общие афферентные черты той или иной внешней ситуации, но и признаки тех результатов, которые когда-то получались при подобных мотивационных и эмоциональных состояниях.

Иначе говоря, наш мозг обладает поразительной способностью к системной генерализации возбуждения, способностью охватывать не только частные признаки каких-либо событий, но и степень успешности и полезности тех результатов, которые были получены в аналогичных ситуациях в прошлом. Результаты прошлого могут последовательно извлекаться из памяти и сопоставляться с потребностью данной ситуации до тех пор, пока доминирующая ныне мотивация не станет вполне соответствовать одному из результатов прошлого. Пожалуй, это одна из самых замечательных способностей нашего мозга, которую можно было бы назвать перебором мнимых результатов прошлого и сопоставлением их с потребностью данного момента.

Возникнув в эмоциональных структурах мозга (гипоталамус, лимбическая система и ретикулярная формация), мотивационное возбуждение иррадиирует даже в те структуры мозга, которые хранят в памяти сами результаты различных удовлетворений именно данной мотивации в прошлом.

Например, состояние аппетита зависит от того, что латеральное ядро гипоталамуса непрерывно раздражается "голодной" кровью. Это возбуждение, поднимаясь в кору мозга в восходящем направлении, мобилизует здесь элементы прошлого опыта, относящегося именно к данной мотивации. Мы начинаем перебирать возможность ее удовлетворения в соответствии с данной ситуацией. Попросту говоря, ищем, где бы мы могли закусить. При этом часто говорим, что в такой-то ресторан мы не пойдем, "поскольку там плохо кормят".

Что значит такое решение с нейрофизиологической точки зрения? Оно означает (см. рис.), что, перебирая возможности удовлетворения пищевой мотивации, мы не только извлекаем из памяти сведения о посещении этого ресторана в прошлом, но также и результат посещения, то есть вспоминаем саму еду и вкусовые ощущения от пищи, полученные когда-то именно в этом ресторане.

Из рисунка видно, что под влиянием доминирующей мотивации в процесс воспоминания включается практически вся функциональная система со всеми ее механизмами, в том числе и механизм оценки полученного результата.

Поразительная вещь! Интеллект оперирует гармоническим сочетанием главнейших факторов нейрофизиологической основы, необходимых для принятия решения: всей настоящей ситуацией (голод, обстановка) и всем многообразием опыта прошлого, также связанного с удовлетворением пищевой мотивации. Казалось бы, эта система взаимодействия так далека от реальной мозговой структуры. Однако мы видим, что каждый элемент нашей интеллектуальной деятельности имеет вполне определенную нейрофизиологическую основу. Составляющие ее механизмы функциональной системы детально изучаются в нашей лаборатории[1].

Возвращаясь к принятию решения, которое, согласно нашей

---

[1] *Анохин П.К., Судаков К.В.* Нейрофизиологические механизмы голода и насыщения. "Успехи физиологических наук", 1971, т. 11, № 1, с. 3—41.

схеме, является результатом предшествующего афферентного синтеза, мы должны на основании всего предыдущего признать, что на стадии афферентного синтеза осуществляется универсальный перебор извлеченных из памяти всех прежних результатов действия и всех прежних оценок этих результатов в соответствии с наличной доминирующей мотивацией. Именно для этой ответственной стадии, очевидно, и нужен процесс реверберации, мобилизующий все сокровища кладовых нашей памяти. Следовательно, "принятие решения", обозначенное в нашей модели (см. рис.), является той процедурой, результат которой был признан после перебора "мнимых" результатов наиболее адекватным для данной обстановки.

С нейрофизиологической точки зрения этот процесс выбора единственной степени свободы состоит, очевидно, в непрерывном сканировании различных результатов, а эталоном для этого сканирования служит наличная в данный момент доминирующая мотивация. Экспериментами нашей лаборатории показано, что в ряде специфических случаев[1] кортико-гипоталамическая реверберация может быть весьма отчетливой.

5. АКЦЕПТОР РЕЗУЛЬТАТОВ ДЕЙСТВИЯ

В этом разделе мы подходим к анализу такого нейрофизиологического аппарата, в котором скрестились главнейшие пути исторических поисков отгадки тайн человеческой психики ("цель", "предсказание", "ошибка", "память", "ожидание" и многое другое). Как оказалось, все эти факторы имеют единый нейрофизиологический стержень, совершенно четко формирующийся в момент (или несколько позднее) принятия решения. Прежде всего я имею в виду нейрофизиологический аппарат предсказания, названный нами "акцептором результатов действия". Что это за аппарат? Какова его природа и каковы функции? Благодаря перебору всех признаков прошлых результатов и сличению их с данной доминирующей мотивацией этот аппарат сосредоточивает в себе все афферентные признаки того конечного результата, по поводу которого было принято решение.

---

[1] *Каграманов К.М.* О холинергических и адренергических механизмах деятельности головного мозга. Автореферат докт. диссертации. — М., 1965.

Разберем пример. Если принято решение взять со стола стакан, то в появляющемся акцепторе результатов будут сконденсированы все относящиеся к действию признаки стакана: его внешний вид, вес, температура и т.д. Смысл этого аппарата, опережающего и предсказывающего свойства будущего результата, состоит в том, что в конце действия, то есть после взятия стакана, должна быть получена вся информация о параметрах этого действия. Именно в этот момент в центральной нервной системе и происходит сличение результата, который прогнозировался в акцепторе результатов действия (взять стакан), с параметрами реально полученного результата[1].

В момент сличения двух комплексов возбуждений наша нервная система осуществляет контроль результатов произведенного действия. Если сличение показало, что прогнозированные параметры (предсказание) в акцепторе будущего результата полностью совпадают с параметрами реально полученного результата, то данное действие заканчивается, а его результаты получают "санкцию" и используются для формирования следующего этапа поведения. Если же выявляется несовпадение параметров реально полученного результата действия с запрогнозированными, то это рассогласование стимулирует построение и подбор новой программы действия, более точно обеспечивающей получение запрогнозированных результатов.

Поскольку все наше поведение представляет собой подлинный континуум результатов, больших и маленьких[2], то практически такого рода сличения происходят в нервной системе непрерывно. Так, например, даже результаты таких незначительных действий, как открывание двери на лестницу, спуск по лестнице, посадка в автобус и т.д., оцениваются и формируют цепи получения последующих результатов. Однако и они могут быть дискретизированы на еще более мелкие результаты: например, постановка ноги на первую ступеньку автобуса, на вторую и т.д. Поразительно, что от каждого такого "маленького" результата наша нервная система должна непременно получить информацию, ко-

---

1 *Анохин П.К.* Узловые вопросы в изучении высшей нервной деятельности. Проблемы высшей нервной деятельности. — М., 1949, с. 9—128.

2 *Анохин П.К.* Принципиальные вопросы общей теории функциональных систем. — М., 1971.

торая обрабатывается в соответствующем акцепторе результатов действия. Малейшее несоответствие результата прогнозу (мы оступились) — и мозг немедленно подбирает новое движение.

Из этой краткой характеристики функций аппарата, прогнозирующего результаты, становится понятным и его название — акцептор результатов действия. Латинское слово acceptare содержит в себе два смысла — "принимаю" и "одобряю", которые представлены в функциях акцептора результатов действия[1].

В нашей лаборатории были проведены многочисленные эксперименты на клеточном и нейрохимическом уровнях для исследования того, как создается этот аппарат предсказания в каждом отдельном случае и каковы его функции в масштабе целой функциональной системы (см. рис.).

Теперь мы можем оценить значение этого аппарата для интеллектуальной функции человека и животных и определить его роль в изучении искусственного интеллекта. Прежде всего он является аппаратом предсказания, поскольку в нем прогнозируются свойства будущего, еще не полученного результата. Так как во всех наших действиях получение того или иного результата связано с заранее поставленной целью, то совершенно очевидно, что аппарат акцептора результатов действия практически является и аппаратом цели. Из этого положения вытекает, что цель в нашем понимании и в наших экспериментах не является чем-то изначальным, а подготавливается сложной работой нервной системы в стадии афферентного синтеза. Именно это обстоятельство позволяет выразить цель как психологическое понятие на языке нейрофизиологических механизмов и объективных причинных связей между процессами, происходящими в головном мозге.

Необходимо подчеркнуть, что при рассмотрении вопросов о предсказании и цели перед нами особенно четко вырисовывается философская сторона проблемы интеллекта и ее решения на основе концепции функциональной системы.

---

[1] *Анохин П.К.* Узловые вопросы в изучении высшей нервной деятельности. Проблемы высшей нервной деятельности. — М., 1949; он же. Особенности афферентного аппарата условного рефлекса и их значение для психологии. Вопросы психологии, 1955, № 6.

Действительно, совсем недавно одно лишь произнесение таких слов, как "предсказание", "цель", "целесообразное поведение", грозило физиологу обвинением в идеализме, в отрыве от материалистических принципов. Такая ситуация в физиологии исторически вполне объяснима, поскольку еще не был подготовлен соответствующий "научный климат" для материалистического разрешения проблемы цели и предсказания. Такой климат был создан в физиологии мозга в основном рефлекторной теорией.

И потому, естественно, мы мирились с поразительным парадоксом: каждый мыслящий человек прекрасно осознавал, что он ставит цель сделать "что-то" значительно раньше, чем реализует это "что-то". Но вместе с тем физиология мозга не имела средств для объяснения тех механизмов, с помощью которых мозг ставит перед человеком "цель" и с помощью которых он может предсказывать реализацию этой "цели".

С выявлением объективных нейрофизиологических закономерностей, обеспечивающих высшие функции интеллекта, отношение к этой проблеме радикально изменилось. В настоящее время, как можно было видеть, она успешно разрабатывается на основе принципов и категорий диалектического материализма, что приближает нас к реальному моделированию интеллекта.

Это становится возможным благодаря тому, что концепция функциональной системы позволяет охватить все те основные механизмы, которые помогают понять естественный интеллект.

Как показывают электрофизиологические исследования формирования подобного аппарата у человека, мы можем искусственно вводить и выводить из акцептора результатов действия любые новые компоненты (так называемое "обогащение акцептора результатов действия"), что значительно расширяет нашу власть, нашу способность воздействовать на интеллектуальную деятельность, в частности на процессы обучения.

6. ЭВОЛЮЦИЯ ОСНОВНЫХ СВОЙСТВ ИНТЕЛЛЕКТА

Возникает, однако, один вопрос: являются ли все описанные выше принципиальные механизмы интеллекта специфическими только для высших уровней развития животных или даже только для человеческого мозга? Этот вопрос краеугольный, поскольку

он очень тесно связан с другими вопросами, например, с таким: есть ли интеллект у животных и когда и у каких животных он появился в процессе эволюции?

Интересную попытку сделали Фогель и другие, попробовав построить эволюционную модель "искусственного интеллекта", которая должна совершенствовать свои основные свойства путем разрастания примитивных механизмов в последующих "поколениях"[1]. Следует отметить, что в эволюционном моделировании накопление опыта осуществляется несколько иным способом, чем в интеллекте животных в процессе эволюции.

Отвечая на поставленные выше вопросы, мы должны прежде всего высказать основное положение, сложившееся у нас в результате многих лет работы над описанными выше свойствами интеллекта: ни одно из тех свойств мозговой деятельности, которые мы выше рассматривали как характерные признаки интеллекта, не появлялось внезапно, на каком-то "рубиконе", до которого этого свойства не было и после которого оно появилось.

Все эти свойства возникли уже на заре зарождения жизни, и все они являлись уже тогда частью динамической физиологической архитектуры. Больше того, они явились conditio sine qua non самого развития живых существ.

Это может показаться странным, поскольку мы всегда описываем интеллект как выдающееся свойство живого, присущее по крайней мере самым высшим и совершенным представителям животного царства.

Однако наше недоумение немедленно рассеется, если мы представим себе, как происходило формирование интеллекта. Возьмем для примера предсказание будущих событий или результатов какой-либо деятельности, выполняемой некоторой четко очерченной функциональной системой.

При каких условиях внешнего и внутреннего мира животного возможно предсказание? Главным условием предсказания является то, что цепь событий, по поводу которой осуществляется предсказание, неоднократно повторялась в прошлом в определенных местах пространства в определенные моменты времени. Наш интеллект может предсказать, что после дня последует

---

1 *Фогель Л. и др.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование.

вечер, а после вечера ночь, только потому, что этот нерушимый ход внешних событий повторялся миллионы лет, и тогда, когда были живые существа, включая человека, и даже тогда, когда не было намека на их появление.

Здесь потребуется несколько отойти от конкретных нейрофизиологических процессов и механизмов и обратиться к обобщениям более широкого характера.

Пространственно-временной континуум движения материи, как справедливо отмечал Планк, является абсолютным законом мира. Но этот закон действовал задолго до появления жизни на Земле. Иначе говоря, жизнь, то есть живые существа должны были volens-nolens "вписаться" в рамки, задаваемые этим фундаментальным законом, и только при этом условии им было обеспечено выживание. Этот факт и привел к тому, что именно вписанность, или отражение живыми существами пространственно-временного континуума, стала совершенно неизбежной предпосылкой предсказания.

Рассмотрев этот вопрос применительно к целому ряду биологических явлений, мы в свое время сформулировали принцип опережающего отражения мозгом действительного ряда событий во внешнем мире. Именно это свойство является изначальным свойством протоплазматических процессов даже у низших животных, для которых смена, например, сезонных явлений (лето — осень — зима — весна — лето) была неизменным условием жизни на протяжении миллионов лет.

Можно привести десятки примеров поразительной точности и целесообразности приспособления к этим абсолютным законам неорганического мира.

Так, например, исследователей-натуралистов давно интересовало следующее парадоксальное явление. Личинка осы (Barcon) остается на зиму в стадии личинки, а весной начинаются следующие циклы развития. Поражает в этом факте одно: как личинка, содержащая в своем теле большое количество жидкости (воды), может пережить, не погибая, почти сорокаградусные морозы. Предполагалось, что вода, содержащаяся в ней, должна была бы немедленно замерзнуть, почти все протоплазматические соединения в ее клетках разрушиться, а сама личинка — погибнуть. Однако личинка этой осы все-таки не погибает. Исследования последних лет показали, что личинка Barcon имеет пора-

зительное приспособление, которое является с удивительным опережением ("предсказанием") хода природных явлений. Оказалось, что уже первые осенние заморозки являются стимулом к ускоренному образованию и накоплению в протоплазме клеток личинки глицерина, который значительно снижает критическую температуру замерзания. Поэтому личинка оказывается защищенной от заморозков.

Главное в этом феномене состоит в том, что криоскопическая точка протоплазмы снижается гораздо более, чем того могло бы требовать реальное похолодание. Уже при осенних заморозках личинка оказывается способной перенести сорокаградусные морозы.

Этот интересный факт показывает, что "предсказание", то есть создание условий для реакций, которые понадобятся только в будущем, есть универсальное явление живой природы, основанное на ритмичности пространственно-временных явлений, которые обусловлены или течением процессов неорганической природы, или повторением событий в силу активного движения животного в окружающей его среде.

В сущности, открытие И.П.Павловым условного рефлекса было открытием опережающих отражений внешнего мира в высокоспециализированном субстрате — в нервной системе. В самом деле, когда в ответ на звонок у собаки выделяется слюна, то это происходит совсем не потому, что слюна должна "переварить звонок", а потому, что в будущем появится пища, которую надо переварить. Следовательно, в силу повторения последовательности определенных воздействий внешнего мира мы создали линию облегченных реакций, в которых достаточно первого толчка, чтобы химическая реакция протоплазмы, подобно реакции бикфордова шнура, распространилась по нервной системе в будущее, опережая последовательное развитие внешних событий.

Из разнообразных примеров и приведенных рассуждений становится ясным, что "предсказание" как феномен изолированного интеллектуального акта имеет глубокие исторические корни. На внешнем этапе эволюции органом этого опережающего процесса стала нервная система. Именно она в сотни раз обострила и ускорила опережающие процессы, и именно благодаря этому мы можем совершить почти фантастическое

путешествие по будущему в ответ на какой-либо толчок или сигнал из внешнего мира.

Эволюция, начавшаяся с примитивного протоплазматического "предсказания", усовершенствовала этот процесс в материальных явлениях мозга до такой степени, что мозг стал органом, который в каждый данный момент своей деятельности сочетает в себе прошлое, настоящее и будущее.

Все это не является фантазией нейрофизиолога. Микроэлектродный метод дает нам возможность установить, что некоторые нейроны, испытывая настоящее раздражение, включают накопленный в прошлом опыт и одновременно с этим формируют процессы, содержащие в себе качества того результата действия, который будет получен только в будущем. В нашей лаборатории эти нервные клетки мозга мы назвали "нейронами трех времен".

Резюмируя обсуждение проблемы "предсказания", мы должны подчеркнуть, что "предсказание", выявляемое на высших этапа интеллектуальной деятельности, есть продукт наиболее совершенного развития того прототипного процесса, который проявляется уже в опережающем протоплазматическом отражении действительности.

Однако возвратимся к естественному развитию событий при формировании поведенческих актов на высшем уровне. Процесс афферентного синтеза, как мы уже говорили, заканчивается принятием решения, являющимся итогом перебора возможных результатов, органически связанных в прошлом с данной мотивацией. Таким путем осуществляется одно из самых замечательных явлений в активности мозга: формирование на уровне нервной системы модели всех признаков и свойств будущего полезного результата, в связи с которым и ради которого развивались процессы афферентного синтеза. Это и есть цель.

7. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Приведенные в этой статье соображения убеждают нас в том, что для познания основных свойств естественного и искусственного интеллекта необходимо идейное перевооружение всей современной нейрофизиологии, выработка новых методических и

методологических подходов. И действительно, поиски наиболее характерных черт искусственного интеллекта показали, что нейрофизиология, строящаяся только на традиционной, по преимуществу аналитической основе, не может надеяться на успех в решении данной проблемы.

В свое время в связи с возникновением кибернетики крупнейший французский физиолог А.Фессар писал, что наука вступила в эпоху обратных связей[1]. Это было совершенно верно. Но к этому надо добавить вступление нейрофизиологии в эпоху более широкого и глубокого синтеза нейрофизиологических и поведенческих исследовательских задач, нового синтеза данных, добытых в отдельных биологических науках. Прежде всего здесь следует сказать об усовершенствовании системного подхода, который содержал в себе все возможности для изучения самых высших форм деятельности мозга: "принятия решения", "цели", "предсказания", "интеллекта" и других.

Предлагаемый в данной статье подход, опирающийся на теорию функциональной системы, как нам кажется, приближает нас к решению все еще загадочных проблем интеллекта. Во всяком случае, нам стали ясны некоторые общие аспекты проблемы, открылся доступ к конкретному научному и экспериментальному исследованию тех аспектов, которые еще совсем недавно были прерогативой психиологии, а часто оказывались основой для идеалистических интерпретаций.

И здесь при изучении исторических предшественников интеллекта были сделаны серьезные обобщения, позволившие понять непрерывную эволюцию интеллекта. Главнейшие свойства интеллекта: афферентный синтез, постановка цели, принятие решения и оценка полученного результата, предсказание и обратная афферентация, санкционирующая получение полезного результата, — эти синтетические процессы имели большую предысторию; они развивались из тех примитивных форм, которые сложились уже на заре жизни на нашей планете.

Эта общность архитектуры поведенческого акта и есть тот исторический фактор, благодаря которому жизнь и мозг развились до высшего этапа — человеческого интеллекта.

Исследования последних лет еще более убеждают нас в

---

1 Structure et evolution des technique, № 35—36, 1953/1954.

успешном применении теории функциональной системы к решению вопросов интеллекта. Ее конкретные синтетические узловые механизмы, выросшие на системной основе, дают возможность перекинуть "концептуальный мост" между нейрофизиологией, психологией и теми проблемами, которые возникают на путях познания тайн интеллекта.

Итак, философия диалектического материализма еще раз получает доказательство того, что интеллект, сознательная деятельность и активное преобразование самого приспособления к внешним факторам являются истинным продуктом исторического развития от материи к сознанию на основе фундаментальных законов неорганического и живого мира на нашей планете.

---

19 — 2449

ПРОБЛЕМА ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЯ В ПСИХОЛОГИИ И ФИЗИОЛОГИИ[1]

Понятие "принятия решения" стало популярным в последние годы, хотя и надо отдать справедливость под сильным давлением нейрофизиологии. Часто это понятие переводится в область терминологическую, в область понятий, более близких к житейским, чем к научным. Обязательная необходимость ввести научное понятие "принятие решения" появилась в процессе разработки различных больших и малых систем, когда стало важным определить этап, на котором заканчивается формирование и начинается исполнение какого-либо акта, т.е. можно сказать, что система приняла решение.

В физиологии поведенческий акт долгое время рассматривался как прямая связь: стимул на входе определяет реакцию на выходе. Если подходить к развитию событий с точки зрения механистического детерминизма (т.е. звено к звену), то по сути дела нет и не нужно никакого решения — ему не было места. Тем не менее наблюдения показывали, что может быть много входов, а выход выбирается только один — и этот выход детерминистически, причинно не может быть связан ни с каким отдельным входом. Становилось ясным, что какая-то система интегрирует все входы и принимает решение о выходе на основе учета всех входов. Так возникло убеждение, что механистический подход не сможет объяснить ту сложность, которая имеется в организме, и особенно на высшем уровне, где решение делается постоянным этапом в поведении человека.

Следовательно, первый и важный момент: решение есть неизбежный предмет интеграции и предмет выбора — из многих возможностей выбирается одна, которая способна обеспечить организм или машину наилучшим эффектом.

И тут появилось некоторое взаимонепонимание между спе-

---

[1] Вопросы психологии. — 1974. — № 4, с. 21—29.

циалистами разных наук, поскольку в проблему решения включились специалисты всех видов (возьмите, например, материалы, которые изданы сейчас Грузинским Институтом кибернетики в Тбилиси после обстоятельной, очень широкой и представительной конференции по принятию решений).

Оказалось, что почти при всяком обсуждении принятие решения начинается с решения как такового, т.е. со структуры решения, как соответствующего начала для каких-то деятельностей и т.д. Но решение не является началом, решение является результатом какой-то очень тонкой и обширной работы, проделанной мозгом. Поэтому выявилась необходимость вовлечь в сферу внимания не только само принятие решения, но и стадию "предрешения", которое формирует решение и предопределяет его направленность. И тут оказалось, что принятие решения невозможно без этой стадии предрешения, которая делает самую "культурную", самую "интеллигентную" работу, а именно: определяет, какие обстоятельства должны быть учтены при принятии решения, из какого набора нужно выбирать ту деятельность организма или машины, которая окажется наиболее адекватной, и какие альтернативы рассматривать. На заключительном заседании этого очень представительного и широко поставленного собрания (как это всегда делает В.В.Чавчанидзе) пришли к выводу, что в сферу внимания должно войти и предрешение.

Поэтому выражение "принятие решения" не должно быть гипнотизирующим фактором, — это есть конечный акт одного весьма разветвленного процесса и начало другого.

Возникает вопрос: какой же универсальный стержень может быть предложен, чтобы выделить принятие решения и сделать его объективно изучаемым процессом? Другая сторона этого вопроса: как много здесь изоморфизма по отношению ко всем видам принятия решения в различных направлениях? Мы долго над этим думали и работали, и оказалось, что общая теория функциональных систем дает такой стержень и является единственной сейчас в поле зрения. Это не значит, что другого нельзя найти, но сейчас она является единственным аппаратом, единственной моделью, которая позволяет изучать самые тонкие механизмы принятия решения в различных системах и охватывает как стадию предрешения, так и само решение и последствия решения.

В функциональной системе принятие решения не является

изолированным механизмом, изолированным актом, а является этапом в развитии целенаправленного поведения.

Это очень важный переход. Я прошу обратить на него внимание. В теории функциональной системы это очень важно. Мы ставим на первое место не "отдельности", например, память как память, как что-то изолированное. Память работает в системе на своем месте, имеет свою роль и т.д. Это же относится и к мотивации, и к принятию решения, т.е. система объединяет все эти позиции.

Таким образом, я прошу обратить внимание на это очень важное положение, что принятие решения не является изолированным аппаратом или изолированной проблемой, а является частью большой системы.

Подходя с этой точки зрения, мы и должны поставить вопрос — чему служит решение, следствием чего оно является и на что оно направляет организм?

Первый и важный момент — нельзя осуществлять решение вообще, решение, не направленное на какую-то деятельность, на какой-то положительный результат.

Можно ли принять решение, которое в будущем не обещает никакого полезного эффекта? Очевидно, нет. Следовательно, если говорить о принятии решения, то в нашем понимании (физиологическом и психологическом) без мотивации, которая должна быть удовлетворена (она может быть представлена в разных видах, в простом грубом виде — типа голода, жажды, но она может быть представлена в виде желания поступить в институт), нельзя обойтись. Мотивация является обязательным фактором, определяющим и устанавливающим форму решения, тип решения, его общие очертания.

Что было выявлено у нас?

Очень важный момент. Мотивация начинает процесс выбора из памяти, выбора из прошлого опыта всего того, что было в жизни данного организма, связано с удовлетворением этой мотивации. Мы долго бились над тем, чтобы понять, до какой степени мотивационное возбуждение, поднимаясь из гипоталамуса, или формируя мотивационный комплекс с участием коры, — до какой степени это возбуждение "вытягивает" прошлый опыт: извлекается ли только сенсорная часть, или и действия, которые были совершены по поводу данной мотивации, или и результат,

который был получен при удовлетворении мотивации. Мы пришли к выводу, что мотивация действительно извлекает из памяти весь прошлый опыт с результатами включительно. Когда вы хотите есть, вы можете эту мотивацию удовлетворить разными способами. Если вы находитесь в степи, вы откроете сумку и достанете охотничьи сосиски; в вагоне вы удовлетворите голод другим путем, в городе — третьим путем: вы можете пойти в ресторан. Пути удовлетворения могут быть различны, и мотивация выбирает все акты из памяти, которые когда-то были связаны в прошлом с удовлетворением этой мотивации. Какой конкретный путь будет избран — это решает обстановка.

Таким образом, извлечение определенной мотивацией определенного жизненного опыта (с коррекцией воздействия от внешней обстановки) и приводит к принятию именно этого, а не иного решения, т.е. само принятие решения опосредствовано очень сложным процессом примерки жизненного опыта к данной ситуации. Если вы в открытой степени захотели пить, то не будете вы искать киоск с газированной водой, потому что обстановка толкает на принятие другого решения. Поэтому, если мы возьмем принятие решения как процесс, изолированный от мотивации, памяти и внешних воздействий, мы не сможем вскрыть его закономерностей.

Этот вопрос — место принятия решения в целом, целенаправленном произвольном акте, с участием психических процессов, является, с моей точки зрения, важнейшим в познании решения. Если бы мы только изолировали решение, мы ничего не могли бы сказать о принятии решения. Поэтому предрешение в стадии афферентного синтеза (т.е. объединения всех афферентов, которые предшествуют решению) оказалось в высшей степени важным в психической деятельности человека, более важным для понимания решения, чем само принятие решения, потому что в этой стадии расценивается, сопоставляется опыт, мотивация и обстановка, и все это предопределяет конкретное решение.

Нейрофизиологические эксперименты показали, что все эти компоненты афферентного синтеза встречаются на одном и том же нейроне. Это, конечно, не одна клетка в мозге, а миллиарды, но оценка производится на одном и том же нейроне, и только высшая интеграция соединяет все эти решения. Таким образом, хотя общее решение принимается всем мозгом, взаимодействие

компонентов афферентного синтеза, приводящее к тому или иному решению, происходит на уровне отдельного нейрона.

Вот почему все это должно привести и психологов, и физиологов, как и других специалистов, к решению вопроса о том, как же нейрон может это делать, как нейрон может сопоставить все данные прошлого опыта с внешней обстановкой, наличествующей в данный момент, что и определит включение этого нейрона в новую систему для реализации одного-единственного решения.

Взаимодействие компонентов афферентного синтеза на нейроне не может быть простым сложением разнородных возбуждений, и проблема принятия решения в значительной степени зависит от выяснения вопроса о том, каким образом в результате конвергенции к отдельному нейрону различных по природе влияний осуществляется выбор наиболее благоприятной в данной обстановке формы его активности.

Однако решение в поведенческом акте принимается, конечно, не одним нейроном, а всем мозгом. Вот почему я хотел бы, чтобы стадия предрешения была освещена и вовлечена в обсуждение; без этой стадии, конечно, трудно понять, как складывается решение.

Принятие решения представляет собой критический пункт, в котором происходит организация комплекса эфферентных возбуждений, способного дать вполне определенное действие.

При любых условиях мы имеем выбор одного акта и исключение всех остальных потенциальных возможностей. Выбор этого акта есть создание эфферентного интеграла, в котором согласованы, "пригнаны" друг к другу определенные формы активности огромного числа отдельных механизмов. Принятие решения переводит один системный процесс — афферентный синтез — в другой системный процесс — в программу действий. Оно является переходным моментом, после которого все комбинации возбуждений приобретают исполнительный характер.

В последние годы мы пришли к очень важному выводу по поводу принятия решения, по поводу системных процессов. Этот вывод заключается в том, что проблема принятия решения состоит из двух частей: с одной стороны, это задача нейрона, с другой — это проблема интеграции нейронов в единую систему, так как в конце концов решение принимается всем мозгом. Это

совершенно новая проблема, над ней работает лаборатория нейрофизиологии обучения нашего института. Это вопрос о том, каким образом информация, обрабатываемая в стадии предрешения отдельными нейронами, соединяется в стадии решения в мощный эфферентный интеграл.

Здесь необходимо ввести новое понятие, очень перспективное для психологии, понятие степени свободы нейрона. Это понятие открывает широчайшие перспективы для понимания того, как нейроны соединяются между собой.

Что такое степени свободы?

На нейрон поступают тысячи возбуждений, а "выпускает" он через аксон одно возбуждение. Если бы в любой момент любой выход вызывал ответ нейрона, то никакой интеграции не могло бы быть, наступил бы полный хаос. Для включения нейрона в систему необходимо устранение его излишних степеней свободы и использование только тех входов, которые вызывают совершенно определенную форму активности данного нейрона, способствующую успеху системы. Система создает интегративное состояние нейрона за счет тысячи разномодальных влияний и делает его чувствительным то к одним, то к другим входам, использует то одни, то другие его степени свободы и устраняет избыточные.

Принятие решения освобождает организм от чрезвычайно большого количества степеней свободы и оставляет одну, которая и реализуется. Организм только тогда примет решение, когда нейроны "подгонят" друг к другу свои степени свободы, что и создаст их интеграцию и возможность согласованной работы. Эта подгонка степеней свободы элементов лежит в основе всякой интеграции и будет, вероятно, занимать в наших экспериментах центральное место.

Я учитываю, что психический процесс принятия решения более сложен и требует более углубленного анализа, но мы работаем, чтобы поставить мост между психическими процессами и между нейроном, чтобы этот переход был оправдан. Для этого перехода и для создания общей картины необходимы и точные психологические данные.

Я думаю, что принятие решения, которое мы сделали предметом обсуждения, является наиболее важной проблемой. В принятии решения очень тесно соприкасаются и нейрофизиологичес-

кие основы психической деятельности, и физиологические феномены, и проекции на другие дисциплины.

Поэтому комплексное обсуждение этого вопроса должно послужить центральной линией Института психологии.

Посмотрим, какие будут итоги после первого совещания. Я думаю, что мы не должны смущаться, если успехи будут небольшими.

Поэтому, может быть, начнем новый путь, и в этом отношении я желаю всяческого успеха в работе семинара.

Вопрос: Петр Кузьмич, я хочу поставить один вопрос, относящийся к вашему вступительному слову.

Вы говорили о том, что понятие теории функциональной системы очень удачно помогает разрабатывать проблематику принятия решения. Я в принципе согласен с этой позицией. Но меня интересует, какие усложнения нужно ввести в те базовые понятия, о которых вы говорите при анализе именно человеческого решения.

П.К.Анохин: В ответ на Ваш вопрос я бы сказал так: в любом действии, в любой деятельности вообще мы должны отличать два фактора — архитектуру и заполнение этой архитектуры конкретными механизмами. Принципиально функциональная система дает универсальную архитектуру для любой деятельности, универсальный принцип функционирования. И это мы считаем важной основой контакта с психологией, потому что нет другого принципа функционирования.

Теперь посмотрим, чем заполняется у комара и у человека эта функциональная система. Здесь большое различие. Есть афферентный синтез у комара, который интегрирует информацию о температуре, влажности и т. д. и "принимает решение" — лететь к оврагу (там прохладнее). У него таких оцениваемых качеств 4—5. Это входные ориентации, которые решают выбор.

Возьмем человека, решающего, куда ему поступать. Ему предлагают в Первый медицинский институт или в Институт психологии. Сколько он выбирает входных информаций для того, чтобы принять решение! Архитектура та же, но содержание и конкретные нейрофизиологические механизмы различны. Социальные факторы имеют место у человека и не имеют места у комара.

Это значит, что мы и то и другое должны иметь в виду при анализе.

Теперь должно быть понятно, что такое архитектура функциональной системы и ее заполненность для различных организмов. Но архитектура всегда является базой для начала анализа.

Далее вопрос о психологии и физиологии.

Мы изучаем человека, нам важна *человеческая* психология, Если бы так говорили по поводу генетики! Вся генетика разрабатывается на дрозофиле и на бацилле Коли. Все это, оказывается применимо и для человека. Поэтому при изучении любой сложной человеческой деятельности надо иметь в виду прежде всего изоморфную функциональную систему, изоморфное функционирование и специфические черты, которые в этот узловой механизм вложены. Недавно мне пришлось участвовать в одной дискуссии по большим системам в нефтеобрабатывающей промышленности. Там нет ни электродов, ни нервных клеток, но я был поражен, до чего изоморфна сама функционирующая структура. Возьмите любое учреждение. Из какого-то министерства команда посылается в Чкалов. Каждое министерство обязательно оставляет копию. Это универсальный принцип организма. Организму необходимо, начиная действие, оставлять у себя копию команды, что можно показать даже на уровне нейрона. Вы видите, как изоморфны принципы функционирования. Оставляется копия команды, чтобы проверить результаты команды. Мы называем это контролем исполнения.

Таким образом, говоря о человеке, мы должны различать эти две фундаментальные проблемы: проблему единства функциональной архитектуры и проблему заполненности этой архитектуры.

Вопрос: Я бы хотел уточнить. Настаиваете ли вы, что архитектура не меняется при переходе к человеку, а меняется только направленность?

П.К.Анохин: Абсолютно настаиваю, но с одной поправкой. У человека мотивация может быть социального порядка. И это должно было так срастись со всей его эмоциональной натурой, чтобы социальные факторы стали плодить мотивацию. Вот в чем отличие. Но архитектура остается одна и та же.

Вопрос: Меня, как психолога, интересует конкретизация вашей общей схемы применительно к проблемам мышления. Вы говорите, что общая схема функциональной системы универсальна. Но вся сложность высшего уровня человеческого мышления состоит в том, что здесь заранее до начала процесса в принципе

не может быть сколько-нибудь полного представления о том будущем результате принятия решения, к которому вы придете. С точки зрения этой позиции, мышление начинается только тогда и оно нужно только тогда, когда нет способа решения данной проблемы.

П.К.Анохин: Это частная ситуация, когда принимается решение, точные результаты которого мы не предвидим. В этом случае все равно та же самая архитектура. Вы решаете проблему, и результат, каким бы он ни был, является целью ваших усилий. Вы говорите, что результат не всегда может быть ясным. Возьмем математика. Он знает, что такой-то математик X такой-то задачи не решает. Из Америки поступила статья — там тоже не справились с этой задачей. Он не знает, в какой формуле он получит результат, но сам процесс стремления к результату дан уже в мотивации, когда цель решить задачу оплодотворяется энергетическим фактором.

Таким образом, у меня нет сомнений, что архитектура с различными вариантами сохраняется. Когда человек решил задачу, на каком основании он убежден, что решение правильно? Параметры правильности решения должны быть определены мотивацией, ведь неудачи коллег дали ему опыт "нерешенности" и позволили определить, что он будет считать решением. Следовательно, он не предвидел результата, но он предвидел, каким условиям должно удовлетворять решение.

Так что аналогия здесь полная. Мы ее примеряли ко всем видам деятельности, но варианты могут быть самые разнообразные.

Вопрос: Архитектура всегда связана с тем материалом, с теми вещами, которые расходуются. Не лучше ли считать, что общий принцип архитектуры качественно меняется?

П.К.Анохин: Мы из деревянных конструкций можем построить ампирный дом и здесь мы можем построить тот же ампир из кирпичей. Материал различный, но стиль архитектуры тот же. О чем это говорит?

Это говорит о том, что само понятие "архитектура" несколько отрывается от материала. Здесь нет аддитивной суммации материалов, и целое не есть сумма частей.

Это очень важный вопрос на другом фронте.

В 1932 году мы начали первую работу по эволюции. Счита-

лось, что в процессе морфогенеза сначала развиваются органы, а затем они строят функции. На строительную площадку привозят камень и здесь строят дом определенной архитектуры. Но оказалось, что с самого раннего начала закладывается целая система, т.е. компоненты, которые нужны будущей системе, закладываются во всех тканях.

Природа пошла по пути подготовки функциональной системы как блока. Мы это направление назвали системогенезом. Поразительный пример — кенгуру. По экологическим и историческим факторам зародышу надо перебраться в сумку матери. Он еще абсолютно недозрел, у него и пальцев нет, у него еще и нервная система — "одна вода", но в ней ускоренным темпом развивались те волокна и те клетки, которые дают ему возможность на 13-й день эмбриогенеза забраться, как матросу, в сумку и присосаться к соску. Совсем по другому поступила природа в эволюции. Еще когда только закладываются первые нити, уже есть маленький домик, он растет и, наконец, получается дом.

В течение многих лет мы изучаем живые плоды человека, взятые после какой-то операции. Естественно, мы не могли не поинтересоваться, как складывается человек. Очень часто у нас были недоноски довольно ранние, один недоносок весил 520 граммов. Он выпивал 8 кубиков молока. Нормальный новорожденный выпивает 100 кубиков, крупный ребенок даже 150 кубиков, а он только 8. Но это говорит о том, что у него функциональная система сосания в своих узловых механизмах уже была готова. Нас занял вопрос — в какой степени предсказание является врожденным, а в какой оно приобретается опытом. Оказывается, для формулы принятия молока акцептор результата действия готов. Мы сделали автоматическую соску и изучали детей, которые не видели еще мать. И оказалось, что сравнительный аппарат готов у новорожденных. Стоит вам немного прибавить кислоты или соли — новорожденный немедленно выплевывает. Значит, так называемые инстинкты (которые у нас совершенно расшифрованы под этим углом зрения) пользуются этой "установкой", как говорят кибернетики. Я приведу в пример так называемых дарвиновских вьюрков на Галапагосских островах. На всех островах у них выработались разные способы доставания червяка из гнилого дерева. Но очень интересно: вьюрок обследует дерево, видит дырку с червяком, уле-

тает, находит где-то кактус, его обкалывает, эту иголку берет в клюв, летит к дереву и начинает этой иголкой вытаскивать червяка. Что он "думал", когда летел туда, что он "думал", когда летел обратно? Без целей, без акцепторов результатов это поведение невозможно.

Здесь докладывал В.А.Полянцев. Он создал интересный эксперимент и вскрыл, что в дыхательном центре есть акцептор результатов действия, который оценивает, взяли ли легкие столько воздуха, сколько требуется организму. Команду дыхательный центр даст, когда он оценит потребность организма по показаниям афферентаций, поступающих из аорты, вен, мышц, получит данные от всех органов и синтегрирует их. Архитектура может быть заполненна разным содержанием, но я ни разу не видел, чтобы были основания отказаться от архитектуры.

Так что универсальность этих врожденных механизмов еще больше подчеркивает, что мы должны думать об очень широком изоморфизме. Этот вопрос у меня очень подробно разобран в специальной книге, которая называется "Принципы системной организации функций". И там во вступительной статье как раз разбирается вопрос об изоморфизме функциональной системы.

Вопрос: Нельзя ли рассматривать выдвинутое Вами положение о сужении афферентации как основу процессов абстрагирования?

П.К.Анохин: Почему бы я затруднился положительно ответить на этот вопрос? Абстрагирование есть результат большой работы, широкого вовлечения элементов мозга. Это — начальный процесс. Но когда однажды абстрагирование произошло, то в поведение включается продукт абстракции, а не продукт предметного восприятия. Если абстрагированный продукт оказывается тысячу раз одним и тем же, он превращается в автоматизированную абстракцию.

Вот вам пример — афферентный синтез. Мы говорим — мотивация, извлечение из памяти, сравнение, корригирование с обстановочной ориентацией. Вы слышали из опытов В.Б.Швыркова, что все эти процессы протекают за 80 мсек, если они автоматизированы, если излишняя афферентация и излишние переборы степеней свободы устранены. Так что одна из благодатных способностей человеческого мозга — устранять ненуж-

ную афферентацию. Я всегда удивлялся, почему психологи не берут эти вещи для изучения.

Я был в Англии, беседовал с Фельдбером, который сидит очень настойчиво в операционной хирурга, интересуясь моментом перехода от сознани к несознанию. Все это вещи, которые следовало бы изучить, потому что мы можем в этом деле отстать. Но тут что бывает повседневно, где искать хорошую модель для изучения сознания? Очевидно, в процессе автоматизации дело идет к тому, чтобы как можно меньше включать сознание.

Я приведу простой житейский пример. Мы встаем утром, надеваем рубашку, пиджак. Это совершенно автоматически происходит, но попробуйте в шутку зашить рукав, и этот автоматизм попался в тупик. Немедленно включается сознание. Немедленно включается вся сумма элементов анализа, и что самое интересное — включается конвергентный синтез. Если при автоматизме в афферентный синтез включалось 5—6 возбуждений, теперь включается 20. При переходе к сознанию поведенческий акт охватывает все стороны афферентного синтеза и обязательно требует участия всего мозга.

ЗАКЛЮЧИТЕЛЬНЫЕ ЗАМЕЧАНИЯ

На нашем семинаре были подняты интересные вопросы. Они касались основных идей научного синтеза. Это расширяет контакты биологических форм мышления и познания с психологическими. Это — абсолютно необходимая тенденция.

Возьмите журналы "Биология и психиатрия" и "Биологическая психиатрия". Что это за тенденция? Она вытекает из того, что общие закономерности, о которых я говорил, дают себя знать и на высшем уровне. Возьмите наши знания о мембране нервной клетки и яйце морского ежа. Структура мембраны морского ежа та же самая, как у самой "умной" клетки мозга. Природа нащупала эти закономерности у самых низших животных. Поэтому с точки зрения подхода, поисков схемы, мы должны эти принципиальные закономерности учитывать. И специального изучения мембраны клеток для человека никакого не надо. Неслучайно, что во всем мире, во всех научных учреждениях, разрабатывающих экспериментальную психологию, исследователи не покидают проблем человеческого сознания, человеческой

психики. Для них это — руководящий принцип работы, но они работают на крысах.

Миллеру удалось показать то, что мы на людях не показали, а теперь это идет в клиники на изучение роли регулярности и нерегулярности стрессорных факторов в происхождении стрессовых состояний.

Мы должны помнить, что есть общие закономерности, общие принципы функционирования и есть специфика.

Отвечая на вопрос о том, как сочетать биологические и высшие человеческие психические функции, я говорю таким образом: например, оболочка клеток или количество ДНК—РНК у бактерий такое же, как у человека. Если взять все это, то вы увидите поразительную вещь: основные жизненные процессы природа нащупала очень рано и так на них и держится. Разумное сочетание универсальных черт функционирования и того, что должно быть базой для понимания специфических черт, которые приобрел человек в процессе эволюции, и будет научной психологией. И поэтому я здесь имею в виду перспективу развития нашего института. Я думаю, что он приобретет большие богатства, если обе стороны будет правильно сочетать.

Я сразу понял, что функциональная система — это мост к психологии. Она дает промежуточные понятия. Например, биология раньше не желала иметь дело с целью. Как выразился один немецкий физиолог, целесообразность — это та дама, без которой не может жить ни один биолог, но они все боятся появиться с нею в обществе.

Подумайте, какой парадокс. Никто из вас не решится сказать, что он делает что-то, не поставив раньше цели.

Я считаю, что результат нашего сегодняшнего совещания по принятию решения очень ценен и полезен в отношении сближения понятий. Мы все вырабатываем общий язык и взаимопонимание.

IV

ИНФОРМАЦИОННЫЙ ЭКВИВАЛЕНТ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ СИСТЕМ

ПРЕДИСЛОВИЕ[1]

к сборнику "Электроника и кибернетика в биологии и медицине"

Кибернетическое направление в современной науке получает все более и более широкое распространение. Это объясняется тем, что те закономерности, которые вскрывает и изучает кибернетика, имеют столь общий принципиальный характер, что практически составляют неотъемлемую часть самых разнообразных направлений науки, техники и даже общественной жизни. Совершенно очевидно, что такой широкий охват различных областей культурной жизни одним научным направлением неизбежно должен был привести к развитию многочисленных линий исследований, многочисленных ответвлений этой науки и, конечно, к раскрытию новых закономерностей, общих для всех классов явлений.

Так, например, кибернетика как наука об управлении сложными саморегулирующимися системами и как наука, стремящаяся раскрыть общие законы этой саморегуляции, к настоящему времени дала начало целому ряду новых теорий, как, например, теория информации, теория связи и т.д. Разработка этих теорий в свою очередь стала столь обширной, что в сущности каждое из этих новых направлений имеет тенденцию стать самостоятельной наукой, иногда даже с забвением того общего корня, на котором выросли все эти дочерние теории.

Вместе с тем углубленная разработка общих черт у различных классов явлений, как, например, в области техники, электроники и биологии, привела к необходимости изучения весьма глубоких, часто проявляющихся на молекулярном уровне механизмов деятельности живого организма. Так постепенно наметились две четко очерченные линии разработки кибернетического направления.

Первая из этих линий охватывает все вопросы, относящиеся

---

[1] В кн.: Электроника и кибернетика в биологии и медицине. — М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1963, с. 5—9.

к сопоставлению, корреляции и взаимообогащению различных наук на уровне *общих закономерностей кибернетики*. Среди этих закономерностей прежде всего выступает важнейшая из них — сам принцип саморегуляции с его основными механизмами, разновидности этих механизмов и место каждого из них в природе в самом широком смысле этого слова.

К сожалению, приходится еще часто встречаться с тем, что именно этот коренной вопрос кибернетики маскируется другими, может быть, внешне более актуальными и более близкими к практическим задачам проблемами. Между тем, по сути дела, все многочисленные ответвления кибернетики приобретают смысл и значение только в том случае, если они находят свое место в этой всеобъемлющей концепции кибернетики.

В самом деле, смысл любой обширной системы саморегуляции как в живой, так и в неорганической природе — в различного рода технических устройствах — сводится к тому, что весь циклический процесс непременно заканчивается получением какого-то полезного эффекта. И именно этот эффект, т.е. его *достаточность или недостаточность*, его соответствие или несоответствие исходному замыслу, управляет всеми многочисленными узлами и коммуникациями системы, как бы их много ни было. И даже больше того, любые перестройки системы и ее пластические изменения на путях получения конечного результата непременно должны быть оправданы получением конечного полезного эффекта для саморегулирующейся системы.

Отсюда становится ясным, что самый характер информации, ее расшифровка и ее изменения по ходу саморегуляции всегда являются функцией конечного эффекта системы. Естественно поэтому, что отрыв теории информации от общих принципов кибернетики нельзя считать полезным. Изучение всех этих взаимозависимостей непосредственно в саморегулирующейся системе как целостной организации и составляет прямую задачу первой линии исследовательских работ в области кибернетики.

Эта линия исследований должна вскрыть конкретные механизмы, если можно, даже и в математическом выражении, тех общих свойств саморегуляции, которые еще в 1932 г. были сформулированы И.П.Павловым. Говоря об организме, он подчеркнул именно эту общую закономерность его деятельности: организм, по его словам, есть "система, в высшей степени

саморегулирующаяся, которая сама себя поддерживает, сама себя исправляет и даже усовершенствует"[1].

Неизбежно должна была развиться также и другая линия исследования. Это большей частью биофизическое и электронное *исследование детальных процессов* большой циклической системы. Применительно к организму эти исследования проводятся часто на уровне отдельной клетки или даже на уровне молекулярных взаимоотношений. Такие исследования являются совершенно естественным следствием углубленного подхода к различным частям большой системы при выявлении закономерностей в соотношении этой большой саморегулирующейся системы с различными дробными субсистемами.

На деле в настоящее время обе линии исследований органически связаны, но в силу обширности полученных результатов они печатаются в раздельных публикациях, а часто и являются предметом специальных симпозиумов.

В советской переводной литературе появилось уже несколько работ зарубежных авторов, относящихся как к первой, так и ко второй линиям работ в области кибернетики. К числу первой категории работ можно отнести работу Косса "Кибернетика и мозг"[2], симпозиум по биологической регуляции[3], интересную книгу Эшби "Конструкция мозга"[4] и др.

К числу второй категории работ надо отнести ряд биофизических сборников, выпущенных Издательством иностранной литературы[5,6] и др.

Настоящий сборник переводов относится ко второй категории исследований, поскольку в нем сгруппированы публикации, касающиеся нейробиофизики, детальных биологических феноменов,

---

1 *Павлов И.П. Полное собрание трудов, 1949, в статье "Ответ физиолога психологам", опубликованной в 1939 г.*

2 *Косса П.* Кибернетика и мозг. Изд-во иностр. лит-ры, 1958.

3 Процессы регулирования в биологии. Сборник. Изд-во иностр. лит-ры, 1960.

4 *Эшби У.Р.* Конструкция мозга. Изд-во иностр. лит-ры, 1962.

5 Вопросы биофизики. Сборник под ред. Г.М.Франка. Изд-во иностр. лит-ры, 1957.

6 Современные проблемы биофизики. Т. 1 и 2. Под ред. Г.М.Франка и А.Г.Пасынского. Изд-во иностр. лит-ры, 1961.

а также публикации, касающиеся моделирования реакций на молекулярном уровне.

Учитывая, однако, огромный интерес советских читателей к новейшим попыткам конструирования различных технических приспособлений для изучения биологических процессов, мы ввели в этот сборник целый ряд специальных публикаций, посвященных и этому вопросу. Они относятся к использованию электроники и вычеслительной техники для диагностики заболеваний и для изучения различных физиологических процессов. Конечно, приведенные в этом разделе работы не исчерпывают всех тех многочисленных публикаций, которые появились за последние 3—5 лет в иностранной печати. Однако избранные работы могут дать читателю общее представление о направлении тех исканий, которыми сейчас заняты, например, конструкторы диагностических машин. Как известно, в этом направлении работы ведутся довольно успешно и у нас в Советском Союзе.

В качестве примера тончайших исследований на молекулярном уровне даны три работы из разных областей знания. Эти работы, скорее, знакомят с общей тенденцией применения электроники к изучению биологических систем и не могут, конечно, дать представление о всем том, что сделано в этих областях. В настоящее время появилось так много публикаций подобного типа, что нет никакой возможности сколько-нибудь полно отразить их в небольшом по объему сборнике.

Наибольшее количество исследований из числа помещенных в сборнике посвящено тонким электронным характеристикам нервной системы и кровообращения. Это как раз те направления, по которым, так сказать, оттачиваются биофизические основы в применении к детальным и тончайшим процессам организма. Достаточно указать, например, что в этом разделе дана биофизическая трактовка синаптической передачи, триггерной функции нервной клетки, биофизической стороны проводящей функции нерва и т.д.

Особенно обращают на себя внимание работы Леттвина с сотр. и Франка. Важность работ подобного типа проистекает уже из того, что в широкой среде физиологов и даже среди нейрофизиологов до сих пор имеет распространение такое суммарное понятие, как "стимул", "раздражение", "очаг возбуждения" и т.д. Современный уровень исследования нервных процессов

уже не довольствуется этими суммарными понятиями: ставится вопрос о том, *что* представляет собой стимул, приложенный к коже или к сетчатке глаза, *по той сумме информации*, которую он несет с собой из внешнего мира. Ставится вопрос о том, *что* закодировано в каждом стимуле, какие параметры внешних энергетических факторов и сколько их отражает каждый стимул и какова судьба этого сложным образом закодированного стимула?

Проблема кодирования стимула выросла в последние годы, с одной стороны, из потребностей технической кибернетики (алгоритмы, программирование и т.д.), с другой — из новейших результатов нейрофизиологических исследований. В самом деле, индивидуальная характеристика восходящих влияний от подкоркового уровня к коре больших полушарий показала, что уже простой стимул в форме, например, прикосновения к коже приобретает на подкорковом уровне чрезвычайную дисперсию и поэтому кора головного мозга в конечном итоге получает от этого, казалось бы, очень элементарного стимула десятки различных по количественным и качественным показателям возбуждений. Спрашивается, какой физиологический смысл в этой исключительно богатой дисперии исходного стимула на подкорковом уровне? Несомненно, происходит какое-то раскодирование всего того, что было заложено в этом стимуле, и, следовательно, понимание конечного итога этой информации для мозга складывается из понимания двух механизмов: а) механизма кодирования исходного стимула на рецепторном уровне и б) механизма раскодирования его на уровне подкорковых аппаратов и коры мозга.

Как может видеть читатель, перед исследователем нервной системы раскрываются широчайшие горизонты новых подходов, новых трактовок и новых обобщений в области функционирования мозга. С этой точки зрения работа, например, Леттвина и др. является весьма ярким доказательством того, что уже на рецепторном уровне происходит анализ и синтез действующего стимула с фиксацией в нервном процессе его наиболее важных параметров.

Нельзя не отметить, что Леттвин и др. подметили одну замечательную особенность высоко специализированной нервной ткани, состоящую в том, что возбуждение может опережать ход

событий, если эти события подчиняются правилу регулярности развития и повторяемости.

В самом деле, уже на рецепторном уровне имеются отдельные клетки (сетчатка глаза), которые способны "предвосхитить" траекторию движения внешнего тела. Можно ли удивляться, что в центральной нервной системе с ее бесчисленными и многообразными циклическими связями процесс возбуждения, фиксированный многими повторениями, опережает события, раскрывая возможность самых высоких творческих успехов человеческого ума в овладении будущим?

Интересной является также и статья Барлоу о преобразовании сенсорных посылок, хотя с автором отнюдь нельзя согласиться в том, что мнение Маха о гипотезе хоть в какой-то степени может помочь пониманию принципа ограничения избыточной информации.

Сборник в целом, несомненно, принесет пользу советскому читателю, хотя бы уже благодаря тому, что он ознакомит широкий круг специалистов с многочисленными исследовательскими тенденциями современной кибернетики. Этим самым сборник может пробудить критическую мысль, постановку более совершенных экспериментов и создать перспективу дальнейших исследований в самых разнообразных направлениях биологии и физиологии под углом зрения последних успехов кибернетики.

ПСИХИЧЕСКАЯ ФОРМА ОТРАЖЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ[1]

1. ОБЩИЕ ПРЕДПОСЫЛКИ

Едва ли кто решится отрицать ту огромную роль, которую теория отражения сыграла в прогрессе материалистического познания природы в понимании этой последней как объективно существующего движения материи, адекватно отражающегося в мозгу и сознании человека (К.Маркс, Ф.Энгельс, В.И.Ленин). Огромная литература, которая посвящена этой проблеме, является прямым доказательством философской силы этой теории, позволившей классикам марксизма убедительно и успешно полемизировать с представителями всех оттенков философского и научного агностицизма (см. В.И.Ленин. "Материализм и эмпириокритицизм"; Ф.Энгельс. "Диалектика природы", и др.).

На протяжении многих лет, вплоть до наших дней, марксистская философская наука изучает и вскрывает все новые и новые стороны процесса отражения, показывая несостоятельность таких идеалистических концепций о внешнем материальном мире, которые ведут к агностицизму, солипсизму и к многим другим философским течениям, гносеологически не допускающим самую возможность существования объективного внешнего мира и познания его с помощью тончайших мыслительных операций человеческого мозга.

Ясно, что реальное существование объективного внешнего мира и возможности познания его свойств средствами человеческого мозга представляют собой центральное гносеологическое положение диалектического материализма. Это положение ведет нас к ряду дальнейших выводов, которые имеют огромное фи-

---

1 В кн.: Ленинская теория отражения и современность. — София, 1969, с.109—139.

лософско-теоретические значение. Прежде всего оно ведет нас к правильному пониманию как биосоциальной сущности человека, так и его практической целенаправленной деятельности.

Такое широкое внимание к проблеме отражения является залогом того, что она будет обогащаться новыми материалами и аргументами, что сделает ее конкретным методологическим пособием исследователей конкретных наук, особенно в области биологических знаний.

Вместе с тем нельзя не отметить один существенный недостаток в этих общих усилиях: они направлены почти исключительно *на гносеологическую сторону проблемы*, и, вместе с тем, не имеется сколько-нибудь значительного количества работ, ставящих акцент на том, *какими материальными средствами организм и особенно его мозг делают достоверным отражаемый в мозгу и сознании внешний объективный мир.*

До какой степени и в чем именно проявляется это *достоверное* отражение объективного мира? Как индивидуализировано это отражение от организма к организму и, наконец, все ли, что существует в объективном мире, отражается в каждом отдельном случае, а если не все, то в чем же смысл отображаемого объективного мира в конкретном поведении каждого отдельного животного? Иначе говоря, современная разработка теории отражения должна максимально полно вскрыть конкретные механизмы отражательного процесса, его формы и его роли в различных деятельностях организма. И на этом пути теория отражения должна использовать все современные достижения самой нервной деятельности, работу целого мозга и т.д.

Я глубоко убежден в том, что для подавляющего большинства исследователей, да и для многих философов, вопрос о гносеологической роли отражения объективного внешнего мира в сознании под напором блестящих достижений нейрофизиологии, нейрохимии и молекулярной биологии уже перестал быть спорным вопросом.

Наоборот, ощущается настоятельная необходимость разработки теории отражения на путях самих средств отражательной деятельности. Именно здесь надо искать наиболее значительные аргументы и иллюстрации, подтверждающие всеобщее значение теории отражения и в философии, и в исследовании, и в практической деятельности.

Вся сила марксистско-ленинского анализа действительности должна быть направлена на использование всего того, что дает нам для разработки теории отражения современная наука. Подлинная наука не может не укреплять основной тезис диалектико-материалистической гносеологии *о реальном существовании объективного мира.*

2. ПСИХИЧЕСКОЕ ОТРАЖЕНИЕ И ИНФОРМАЦИЯ

На пути глубокого научного исследования процесса отражения, свойственного высшим животным, мы встречаемся с весьма важной проблемой и философии, и науки о мозге. Я имею в виду формирование в процессе эволюции организмов *идеальной формы отражения — субъективного сознания.*

Сознание и субъективная жизнь человека, несомненно, являются закономерным продуктом эволюционного прогресса организмов и специально эволюции мозга. В этом смысле основная формула гносеологии диалектического материала "материя первична — сознание вторично" остается в силе. Но эта гносеологическая ясность неизбежно ставит перед нами ряд вопросов: как осуществляется этот критический переход от материального к идеальному? Какие естественные процессы живой протоплазмы способствуют этому скачку на высшем пункте эволюции? Имеет ли материальная основа психики — нервные процессы, какие-либо определенные и закономерные причинно-следственные отношения с *идеальным*, т.е. с отражением внешнего объективного мира в сознании человека?

Хотя полностью и исчерпывающе ясно мы еще и не можем ответить на все эти вопросы, однако, мы должны на основе всех достижений науки о мозге попытаться подойти непосредственно близко к этому критическому пункту диалектико-материалистической гносеологии.

Отражательный процесс развертывается таким образом, что внешний объект через непрерывный ряд физических и физиологических процессов как бы ассимилируется организмом, т.е. *отражается* сначала в его структурах, а потом и в сознании. Такой порядок развития процессов отражения приводит к естественному выводу, что по сути дела этот процесс от этапа к

этапу формируется в соответствии с теорией передачи информации. Такой подход к проблеме отражения уже был применен не раз (см., например, Т.Павлов, 1965; Б.С.Украинцев, 1960; Н.В.Медведев, 1963, и др.). Однако я считаю полезным еще раз возвратиться к нему с приложением всех тех последних нейрофизиологических данных, которые освещают в этом аспекте распространение возбуждений, вызванных внешними объектами по нервной системе.

Приступая к разбору отражательного процесса в аспекте теории информации, нам важно установить, как оценивали сами классики теории отражения *точность соответствия* отражаемого объекта и того образа объекта, который создается в конце концов в сознании человека. Конечно, в этом отношении нам прежде всего интересны высказывания самого В.И.Ленина.

К сожалению, привлечение теории информации к разрешению или даже к иллюстрации теории отражения всегда было недостаточно глубоким. Между тем именно теория информации в настоящее время дает нам наиболее реальную возможность расшифровки нейрофизиологических механизмов отражения и, особенно, момент перехода материальных нервных процессов в субъективный образ, в сознание.

Роль теории информации состоит не только в том, что она *еще раз* демонстрирует реальное существование действительности. Главная роль теории информации состоит в том, что она полностью исключает необходимость говорить о "копиях", "символах", "иероглифах" и т.д. Благодаря ей весь процесс отражения может быть представлен в достаточно четких, научно обоснованных понятиях и в хорошо поддающихся обучению механизмах.

Передача информации в живых и технических объектах обычно происходит с исключительно большим количеством специфических звеньев, однако, она подчиняется одному важному закону: *между начальным и конечным звеном этой передачи должна быть точная и адекватная информационная эквивалентность.*

Так, например, когда мы просим ребенка изобразить звук "а-а", соответствующий зрительному изображению буквы "а", информационный процесс охватывает огромное количество звеньев. Звуковые волны, продуцируемые моим аппаратом речи, перекодированные барабанной перепонкой в механические колебания, попадают на кортиев орган слушателя и производят здесь

избирательное возбуждение отдельных рецепторных клеток этого органа. Избирательность здесь весьма тонкая, она может касаться частоты волнообразных колебаний воздуха, продуцируемых мною, она может отражать интенсивность, тембр и другие параметры звуковой речи.

Все эти параметры с информационной точки зрения могут служить информационным эквивалентом воздушных колебаний, соответствующих звуку "а". Так же развивается и следующий этап — движение нервных импульсаций от кортиева органа по направлению к мозгу. Объем этих импульсаций, их частота и рисунок разрядов в нерве являются *информационно* эквивалентными звуку "а", хотя, конечно, в слуховом нерве нет ни единой "звуковой волны".

Нервные импульсации возникают одновременно в тысячах волокон слухового нерва, но можно с достоверностью утверждать, что ни одно слуховое волокно с точки зрения общей конфигурации нервных разрядов не похоже на другое. Таким образом, в целом этот множественный поток нервных импульсаций, бегущий к мозгу по тысячам волокон слухового нерва, является истинным информационным эквивалентом слуха "а", поступившего на барабанную перепонку.

Можно ли из этих потоков импульсов, которые по своей физической природе ничего общего не имеют с воздушными звуковыми волнами, извлечь каким-нибудь способом тот первичный натуральный "объект", который определил весь путь формирования отражательной деятельности? Оказалось, что можно. Это было хорошо показано в опытах Уивера и Брея. Если на слуховой нерв, по которому идут потоки нервных импульсаций, в которых *эквивалентно* закодирован звук "а", наложить электроды, и если получающиеся при этом биотоки нервных волокон преобразовать соответствующим образом, то на репродукторе можно услышать именно звук "а". Замечетельный факт! Он убеждает нас в том, что по слуховому нерву в самом деле бежит звук "а", но лишь только в другом коде. Центральная же нервная система делает все то, чтобы с исключительной бережливостью передать звук "а" в специфическом информационном эквиваленте на каждом звене всей длинной цепи перекодирований и достаточно точно расшифровать его на конечном этапе.

Исключительно интересным в этом смысле является один из экспериментов, проделанных в нашей лаборатории. Речь идет о передаче информации в пределах дыхательной системы с сохранением исходного эксперимента на каждом этапе передачи.

Учтя все сигнализации от различных частей организма о потребности организма в кислороде, дыхательный центр дает периферическим рабочим аппаратам приказ — "взять в легкие 500 кубиков воздуха". Эта команда, как известно, дается по диафрагмальному нерву к дыхательным мышцам.

Следовательно, команда о взятии 500 кубиков воздуха, содержащаяся в потоках нервных импульсаций, теперь уже перекодирована *в силу мышечных сокращений*. Однако, несмотря на отличие самого явления сокращения от нервных импульсаций, в этом сокращении имеется тот же информационный эквивалент — взять 500 кубиков воздуха. Расширение легкого и растяжение альвеол являются следующим этапом перекодирования первичной команды центра. Однако несмотря на различие природы этих явлений, взятых в отдельности, они принципиально несут тот же информационный эквивалент — взять 500 кубиков воздуха.

Но вот теперь по чувствительным нервам (блуждающий нерв), идущим от альвеол легкого, в мозг бежит обратный поток нервных импульсаций, которые в сумме несут информацию "взять 500 кубиков воздуха".

Таким образом, на всем пути передачи информации в организме, несмотря на принципиально различные средства перекодирования, *информационный эквивалент* первичного охраняется.

В нашей лаборатории был проделан следующий эксперимент: было решено сопоставить и заменить *информацию о взятии* 500 кубиков воздуха с командой для взятия этого воздуха. Это было осуществлено с помощью посылки командных нервных импульсаций по каналу извещения о взятии воздуха в количестве 500 кубиков. Технически это достигалось тем, что командные нервные импульсации, минуя дыхательные мышцы, легкие, альвеолы, преобразуются через стимулятор, переходят прямо на блуждающий нерв, который должен был бы информировать уже о взятии воздуха. Иначе говоря, мы хотели решить задачу: могут ли нервные импульсации, в которых закодирована *команда* взятия 500 кубиков воздуха, *подменить информацию* об уже взятых 500 кубиков воздуха. Такое сопоставление показало, что

центральная нервная система не принимает по каналу обратной афферентации "команду" вместо "результата". Происходит полная дезинтеграция дыхания, и животное может погибнуть.

Однако для того чтобы понять самый инструмент информационного анализа, надо прежде всего понять, какими средствами теория информации определяет самую законность и научность выводов и применения ее аналитического аппарата.

Кибернетика стремится ввести в обсуждение общий язык, термины и понятия, которые могут быть подвергнуты измерительной и математической проверке. Я согласен с теми авторами-философами, которые утверждают, что нельзя в понятиях и теориях математики объяснить субъективно-психический образ объективно существующего внешнего мира. Но вместе с тем нельзя и надеяться на то, что мы сможем раскрыть материалистическую природу психического феномена без того, чтобы *на подступах к нему*, т.е. в самом процессе отражательной деятельности, мы не изучили и не поняли материального существа передачи информации.

Мы не должны забывать того, что когда мы измеряем кубатуру комнаты, то наши измерительные приборы одновременно скользят и по объекту, и по нашему "образу комнаты".

Так, например, в теории информации существует представление о точности передачи информации о каком-либо объекте независимо от перекодирования. Я назвал бы эти этапы передачи информации *информационным эквивалентом объекта*. Это значит, что процесс информации, в каком бы звене передачи мы его ни уловили, принципиально содержит в себе все то, что составляет наиболее характерные черты исходного объекта, однако эти признаки могут быть представлены в разных кодах. Иначе говоря, исходный объект мог бы быть воспроизведен во всех своих чертах, если бы мы нашли способ декодировать поток информации именно в данном звене ее передачи.

Здесь возникает необходимость разобрать некоторые базисные понятия теории информации, поскольку все эти понятия полностью применимы и к процессам отражательной деятельности организмов до формирования субъективных образов включительно.

Прежде всего мы должны указать на значение понятия *параметра и параметризации*, которые лежат в основе оценки

всякого объекта или явления. Параметр — это какое-либо элементарное свойство или признак данного объекта, который в сумме с другими параметрами составляет исчерпывающую характеристику данного объекта. Параметры должны быть измеримы или, по крайней мере, выражены в каких-то общепринятых единицах.

Так, например, стоящая на столе чайная чашка имеет цвет, форму, сюжет росписи, ручку или отсутствие ручки и т.д. Все эти параметры воздействуют на зрительный аппарат. Но эта же чашка имеет параметр веса, температуры, форму, оцениваемую по мышечным рецепторам, и т.д. К этим же параметрам чашки можно прибавить ее емкость, что является ее рабочей характеристикой. Все эти параметры являются индивидуальной характеристикой этой чашки и при наличии достаточного количества способствуют воспроизведению в нашем мозгу субъективного образа этой чашки. Конечно, не все параметры являются одинаково важными по отношению к основной функции чашки, как, например, цвет, однако сравнительная оценка этих параметров нервной системой лежит уже в плоскости других форм деятельности.

Значимость отдельных параметров чашки может в некоторой степени меняться в зависимости от данной ситуации. Если мы испытываем сильную жажду, то ведущим ее параметром будет емкость, если же мы покупаем чашку для преподнесения ее в качестве подарка, то ее форма, антикварность и другие параметры приобретают главнейшее значение.

Художественное течение под именем "импрессионизм" хорошо показало, как нарочитым подчеркиванием каких-либо весьма ограниченных, но решающих параметров такого сложного объекта, как лицо человека, можно сформировать полный и, главное, желаемый образ человека.

Итак, для оценки отдельных этапов отражательного процесса объект должен быть параметризован, ибо в дальнейших преобразованиях в пределах центральной нервной системы отражательный процесс будет находиться в прямой зависимости от этих параметров.

Первой стадией, где происходит перекодирование параметров, например, зрительного объекта, является сетчатка глаза. В результате фотохимического процесса здесь возникают нервные

импульсы, которые в самых разнообразных комбинациях и аранжировках во времени бегут по зрительному нерву в центральную нервную систему.

Современная нейрофизиология хорошо знает, что в этой стадии формирования отражательного процесса полностью отсутствуют те *волновые колебания*, которые соответствовали зрительным параметрам наблюдаемого нами объекта. И тем не менее, мы имеем в этом интеграле импульсаций, развивающихся с различной скоростью, амплитудой и частотой, эквивалентный образ наблюдаемого нами объекта, точнее говоря, эквивалент его зрительных параметров.

Однако самое главное здесь заключается в том, что этот поток импульсов несет ту же информацию об объекте, какую несли до этого и различные волновые колебания эфира, вызванные различными зрительными параметрами самого объекта. Преобразованные благодаря фотохимическому процессу в нервные импульсации эти волновые колебания были лишь *перекодированы*, без потери точности информации об объекте.

Мы указали лишь только на первый этап в формировании отражательного процесса. На последующих путях распространения зрительной информации об объекте по центральной нервной системе она будет обрабатываться и перекодироваться много раз и с различным результатом. Некоторые из нервных импульсаций оторвутся от общего нервного потока и пойдут через филогенетически самые древние зрительные центры (например, через передние холмы четверохолмия и через ретикулярную формацию мозга). Другие потоки нервных импульсаций пойдут по более молодым зрительным центрам подкоркового аппарата (например, наружние коленчатые тела). Естественно, что ни в одном из этих центров, взятом в отдельности, мы уже не имеем того *кода* зрительного объекта, который мы имели на уровне оптического нерва — все имульсации нерва получили разнообразную с точки зрения истории развития самого мозга обработку. И тем не менее, совокупность всех нервных импульсаций во всех подкорковых центрах, вовлеченных в этот зрительный поток, представляет собой более высокую степень организации отражательного процесса на путях построения субъективного зрительного образа видимого объекта.

Как хорошо известно, теперь в нейрофизиологии все эти

разнообразные компоненты зрительного потока, *в целом сохраняющие информационную точность о всех реальных параметрах или свойствах объекта*, поднимаются в кору головного мозга совершенно различными нервными путями. Здесь в коре мозга эти потоки информации вновь объединяются и подвергаются значительной обработке перед критическим моментом построения *субъективного образа* наблюдаемого объекта. На этом высшем этапе первичная зрительная информация еще много раз перекодируется по различным клеткам и по различным синаптическим организациям коры мозга.

Конечно, здесь и речи быть не может о том, чтобы увидеть первичные колебания эфира, световые волны, которые передали совокупность зрительных параметров наблюдаемого объекта глазу, сетчатке, ее фотохимическим элементам. И тем не менее, *с информационной точки зрения* все свойства реального объекта точнейшим образом и в совершенно измеримых нервных процессах были переданы в эту высшую инстанцию без потери информационной эквивалентности между наблюдаемым объектом и тем конечным образом, который складывается на конечной стадии зрительного восприятия.

Приходится удивляться тому, с какой старательностью эволюционный процесс "охранял" *точность передачи* всех детальных параметров наблюдаемого объекта в высшие инстанции мозга. Нет опасности в том, что первичные свойства предмета "исказятся", например, на уровне фотохимических процессов сетчатки или в процессе распространения нервных импульсаций по отдельным волокнам зрительного нерва.

Здесь их неприкосновенность гарантирована самой структурой волокон, изолированных от различных помех. Но совершенно по другому распространение зрительной информации происходит на высших инстанциях — при обработке зрительной информации на уровне подкорковых центров и самой коры мозга. Здесь в возбуждение втягиваются миллиарды нервных клеток, объединенных в так называемую "нервную сеть". Здесь каждый этап таит в себе опасность искажения первичных и, следовательно, самых верных информаций о реальных физических параметрах объекта.

Но эволюция "обошла" эту трудность самыми разнообразными и всегда остроумными механизмами. Уже на первом этапе

вступления нервных импульсов в центральную нервную систему включаются аппараты так называемого "побочного торможения". Эти механизмы с хладнокровной "жестокостью" отметают все побочные "шумы", все возможные вмешательства, рождаемые "нервной сетью" и не относящиеся к первичному воздействию натурального объекта. Таким способом нервная система достигает поразительной точности информации мозга о первоначальных воздействиях внешних объектов. Насколько важно дойти до высших центров всему своеобразию именно первичных, натуральных *параметров объекта*, видно из последних данных нейрофизиологии. У многих животных уже периферические рецепторные процессы переработки внешней информации об объекте насыщены биологическим смыслом, вырабатываемым естественным отбором на протяжении многих миллионов лет эволюции.

Так, например, было доказано, что сетчатка глаза лягушки имеет специальные ганглиозные элементы, высокочувствительные к весьма тонким нюансам *выпуклостей*, т.е. как раз к тому, что составляет специфическую черту в "образе" насекомых, являющихся добычей для лягушек. У млекопитающих животных, например, движущийся предмет является раздражителем не только в пунктах своего реального движения, но имеются специальные элементы сетчатки, *экстраполирующие будущие возможные передвижения предмета*.

Приведенные примеры свидетельствуют с определенной очевидностью, что набор параметров покоящегося и движущегося объекта чрезвычайно разнообразен и потому так важно донести до окончательной обработки первоначальную, непосредственно полученную от объекта информацию. Именно чрезвычайно важные в биологическом отношении параметры первичного воздействия из внешнего мира и должны быть *точно отражены* на самых высших этапах обработки информации, что, несомненно, повышает вероятность наиболее точного отражения объекта и в психике животных и в сознании человека.

Можно привести многочисленные примеры того, как периферическая натуральная информация от внешнего объекта на всем дальнейшем пути формирования отражательной деятельности охраняется с максимальной бережливостью от нарушения чистоты и точности передачи отражаемого объекта.

Информационная природа отражательной деятельности с осо-

бенной драматичностью проявляется в так называемой "ночной войне в воздухе". Речь идет о летучих мышах, которые при помощи ультразвуковой локации с поразительной точностью засекают съедобную для них ночную бабочку.

Как известно, сама суть этой "погони" за жертвой состоит в том, что летучая мышь с помощью специального органа производит специальные ультразвуковые сигналы, которые распространяются в различные стороны. Там, где эти ультразвуковые волны не встречают препятствий, они рассеиваются на огромные пространства. Там же, где они встречают твердый предмет, например, бабочку, куст дерева или что-нибудь другое, они отражаются и направляются обратно, т.е. *к самой летучей мыши*.

Летучая мышь обладает довольно тонким органом слуха, который получает это обратное ультразвуковое отражение и "читает" по его колебаниям ту информацию, которую он приносит. Стоит представить себе на минуту, какое огромное разнообразие ответных потоков ультразвуковых волн имеет мышь при погоне за добычей, чтобы понять тот "образ внешнего мира", на основании которого она строит свое поведение. Она имеет в подлинном смысле слова *картину* внешнего мира, составленную из пустот, откуда мышь не получила отражения, и из разнообразных модуляций исходного ультразвукового сигнала в зависимости от того предмета, от которого отражалась посылка.

Больше того, эта способность "читать" обратную, т.е. отраженную ультразвуковую посылку по частотному и амплитудному коду столь совершенна, что мышь может вполне различать породу бабочки (!), съедобную или несъедобную для нее.

Однако и жертва не остается невооруженной. Она также "использует" информационные закономерности и довольно успешно ими защищается. В процессе эволюции и на основе естественного отбора мотыльки вырабатывают специальные рецепторы, способные воспринимать именно ультразвуковые сигналы. Получив сигнал, предназначенный летучей мышью для поимки жертвы, мотылек немедленно или падает, или зигзагообразно начинает менять уровни своего полета, спасаясь от нападения.

Некоторые же мотыльки поступают еще "хитрее". Они пользуются тем, что различные породы мышей издают различные по

спектру ультразвуковые сигналы. Этого достаточно, чтобы мотылек с поразительной точностью различал те породы мышей, для которых он как раз и не является съедобным. Естественно, что открытие даст ему в этом случае законное право оставаться спокойным и не спешить с защитой.

Однако имеются породы мотыльков, которые решают вопрос своей защиты опять-таки на основе естественного отбора, еще более радикального: у них вырабатывается такой густой и пушистый покров, который полностью погашает все ультразвуковые сигналы, в результате чего летучая мышь остается без отражаемого ультразвука, чем имитируется для нее *полное отсутствие жертвы*.

Мы знаем сейчас, что летучая мышь посылает различные сигналы и для улавливания отраженных сигналов от жертвы имеет специальные аппараты.

Весь этот материал показывает огромную роль информационных взаимоотношений в мире живых существ и вместе с тем убеждает нас, что отражение действительности в мозгу животных всегда соответствует реальной объективной действительности, что подтверждается практикой точного приспособительного поведения.

Однако, если бы мы попытались понять, в каком виде "образ мыши" отражается в нервной системе мотылька, какие параметры мыши кодируются в его нервной системе, то мы увидели бы, что этот образ может быть понят только на основе учета информационных кодов. В самом деле, вероятнее всего, что мотыльки никогда не получали каких-либо других стимуляций от мыши, кроме стимулов от ее страшного оружия — ультразвука. Те же мотыльки, которым "посчастливилось" увидеть или тактильно ощутить мышь, несомненно, были съедены и, следовательно, уже давно были элиминированы естественным отбором.

Итак, "образ мыши" представлен в нервной системе мотылька почти исключительно комбинацией частоты и специфичностью испускаемых его ультразвуковых колебаний. Однако это весьма редуцированная сигнализация приводит в действие только такие комплексы нервных возбуждений в нервной системе, которые совершенно точно отражают объективные предметы и их глубокое биологическое значение.

Итак, теория информации показывает, что любой отражаемый в нервной системе внешний объект через ряд перекодирований

первичного сигнала на конечном этапе совершенно точно отражает главнейшие, биологически важные параметры отражаемого объекта. Эти параметры во всех своих комбинациях могут дать и не обязательно "зрительный образ" реального объекта, как это мы вообще принимаем для первичных зрительных возбуждений.

Как мы видели, у мотылька этот образ отражается почти целиком в сфере всевозможных модуляций ультразвуковых колебаний. Однако этот "образ", будучи выражен в звуковых кодах, всегда отражает тончайшие нюансы физических параметров реального мира. Эти звуковые модуляции с большой точностью перекодированы в механические комбинации уже на стадии воспринимающего слухового аппарата мыши. На дальнейших этапах отражательного процесса в нервной системе эти потоки ультразвуковой информации будут перекодированы еще несколько раз. Однако конечный образ реального объекта сохраняет свой информационный эквивалент, в точности соответствующий исходному воздействию реального объекта.

Возьмем для примера крота. Для него "образ" камня, который он встречает в своем продвижении под землей, представлен только тактильно-обонятельными и, может быть, вкусовыми параметрами. Однако окончательное отражение этой своеобразной для крота действительности в его мозгу всегда с точностью соответствует важнейшим параметрам внешнего и важного для него объекта. Надо помнить лишь, что *значимость* этих параметров находится в прямой зависимости от своеобразных экологических факторов данного вида животных.

Блестящим и доказательным примером того, что образ внешнего мира может отразиться в мозгу и в сознании набором самых разнообразных параметров действительного мира, является поведение слепо-глухонемых людей. Замечательный внутренний мир и отражательная деятельность этих людей представляет собой весьма яркое доказательство двух положений: а) внешний мир может быть отражен в мозгу человека после целого ряда перекодирований вполне реальными параметрами, точно характеризующими этот внешний мир, причем каждый из этих параметров может приобрести *ведущее* значение, если почему-либо устранены другие; б) наличие точного отражения параметров внешнего мира даже при исключении важнейших из них доказывается тем, что поведение животных и человека находится в полном соот-

ветствии с теми физическими параметрами внешнего мира, которые в данной ситуации являются жизненно важными.

Итак, заключая этот раздел нашей работы, мы можем сказать, что современные успехи нейроморфологии, нейрофизиологии, кибернетики и, особенно, теории информации не оставляют сомнения в том, что окружающий нас мир является реальным миром. Вся же эволюция живого и особенно эволюция мозга была направлена именно на то, чтобы на всех уровнях дешифровки первичной информации, т.е. "впечатления от самой действительности", этот реальный мир получил бы наиболее точное отражение.

Для решения вопроса о том, в каком именно виде окончательно синтезируется вся информация, обработанная на многочисленных узлах нервной системы, мы должны помнить, что кора головного мозга и сознание производят окончательный синтез всей этой обработки и формируют образ отражения, не упустив из него более или менее важных параметров объекта внешнего мира. Здесь следует отметить, что решающим условием охвата параметров внешнего мира является пропускная способность наших органов чувств, которые имеют вполне определенный диапазон чувствительности.

Так, например, мы не воспринимаем той части спектра, которая соответствует инфракрасному излучению. Мы не можем видеть в темноте. Однако научные исследования различных живых объектов убеждают нас в том, что этого сделать мы не можем лишь потому, что сетчатка нашего глаза не способна начать фотохимический процесс под влиянием именно этой волны инфракрасного излучения.

Мы не видим вен на человеческом теле и не воспринимаем лица своих знакомых как картину своеобразных распределений температур по различным точкам. Однако мы знаем, что черный таракан имеет такой глаз, в котором находится весьма чувствительная субстанция, именно, по отношению к инфракрасному излучению, что дает ему высокую чувствительность к инфракрасной картине мира, почему он и видит хорошо в темноте.

Итак, внешний реальный мир имеет гораздо больше параметров, из которых можно было бы составить, отразить реальный образ внешнего мира, но экологические особенности каждого животного и его индивидуальная эволюция способствовали развитию или тех, или других датчиков, или на те или на другие

параметры. Этим набором параметров и определяются в конечном счете отраженные образы действительности у различных животных: ночной мотылек "видит" летучую мышь с помощью нервных процессов, вызванных своеобразным ультразвуковым колебанием, образ от общей обстановки у таракана в темноте определяется различной температурой тел, и, следовательно, различным инфракрасным излучением.

Что касается человека, то отображаемый им мир является гораздо более богатым с точки зрения количества физических параметров внешнего мира, и это обеспечивает образование более полноценного и детализированного образа внешнего мира. Именно этот процесс формирования последнего *синтетического этапа* и составляет предмет особого внимания при гносеологическом подходе к теории отражения. Однако, зная теперь, как от этапа к этапу преобразуется (перекодируется) первичная натуральная информация, и зная, с какой настойчивостью эволюционный процесс удерживал на этих этапах все важные в приспособительном смысле параметры внешних объектов, мы не можем хоть в какой-нибудь степени сомневаться в реальности таковых параметров у внешних объектов и, следовательно, в точности отражения их в *информационном эквиваленте* на различных этапах распространения возбуждений по нервной системе.

Пусть отдаленным, но с информационной точки зрения весьма аналогичным процессу отражения внешнего мира в организмах является механизм телевизионной передачи.

Для тех, кто часто бывал в телевизионной студии, является вполне обычным факт весьма интересной для разбираемой нами проблемы. Допустим, что мы видим и слышим в этой студии непосредственно поющую певицу. Мы знаем, что и зрительный образ певицы, и звук ее голоса воспринимаются соответствующими датчиками (киноскоп и микрофон) и поступают в цепь различных преобразователей. На каком-то этапе преобразования возникают электромагнитные колебания в эфире, которые широко распространяются по нашей атмосфере, а может быть даже и в космос. Строго говоря, волнообразные колебания эфира, полученные от вида певицы и от ее голоса, с рассмотренной выше точки зрения представляют собой *информационный эквивалент* реального образа певицы.

Несмотря на несомненную точность перекодирования внешних

параметров певицы, мы не видим ее ни в атмосфере неба, ни у себя в комнате. Нужны еще дальнейшие преобразования этих электромагнитных колебаний, чтобы образ певицы целиком восстановился на экране телевизора. В ряде случаев уже в самой студии вы можете одновременно видеть и реальную певицу, и тут же недалеко от нее телевизионное изображение этой певицы (монитор). Однако мы знаем, что этот отраженный на экране телевизора образ мог быть получен только потому, что физические параметры этого образа, несмотря на многоступенчатые преобразования, смогли быть вновь синтезированы физическими средствами в экранный образ.

Наш мозг и сознание представляют собой как бы специальный компаратор, который может сравнить реальный образ внешнего мира (поющая певица) и его отражение через многие этапы перекодирования исходных параметров реального объекта.

Представим себе на минуту, что наше сознание, приобретенное нами на протяжении сотен миллионов лет эволюции живого, как раз и есть этот последний синтезирующий фактор, собирающий всю ту информацию об объекте, которая по путям передачи претерпела и дисперсию, и редукцию, и синтез. И теперь на последней инстанции все воспринятые параметры вновь воссоздаются в том образе, который мы видим в своем сознании. Тогда субъективное сознание было бы лишь совершенным продуктом эволюции нашего мозга, который под стать последнему каскаду телевизора вновь восстанавливает исходный объективный мир во всей его красочной полноте.

Мы видим, что при таком подходе в материалистической концепции отражения нет места допущению чего-то нематериального и несуществующего. И только лишь конкретные механизмы рождения субъективного в сознании не поддаются пока аналитическому описанию, однако их точная информационная связь с исходными параметрами объективного мира не может быть подвергнута сомнению.

3. СУЩНОСТЬ ПСИХИЧЕСКОЙ ФОРМЫ ОТРАЖЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ

Как можно было видеть из предыдущего изложения, теория информации, приложенная к исследованию отражательного про-

цесса, не оставляет сомнений в том, что *главнейшие параметры* внешнего мира, значимые для данного животного или человека, несмотря на многочисленные перекодирования, практически создают точное отражение действительности, хотя и в различных кодах. Для нейрофизиолога не может быть сомнения в том, что эта смена кода от звена к звену является лишь специальным инструментом нервной системы, *сохраняющим в точности информационный эквивалент внешнего объекта* от периферических органов до момента появления образа в сознании. И даже больше того само сознание является, несомненно, наиболее совершенной формой кодирования параметров внешнего мира, т.е. инструментом создания *образа* внешнего мира.

Однако сам момент превращения последних кодов внешнего мира в нервных процессах неизбежно переходит в сознание, в "субъективный образ объективного мира", остается еще мало известным в онтологическом аспекте, хотя его гносеологическая сущность и является ясной. Формирование специфических черт сознания, фокусирующего весь организм на определенных субъективных состояниях, по-прежнему остается "крепким орешком". У нас нет сомнения в том, что сознание является вторичным продуктом исторического развития на путях совершенствования приспособительных способностей животных и человека. А если это так, т.е. что историческому развитию сознания *предшествовало* прогрессивное развитие нервной организации, то значит, к развитию сознания во всем полном объеме приложимы все дарвиновские законы развития, включая и естественный отбор. Именно под этим углом зрения — под углом зрения *исторического развития* — сознание обычно не обсуждается. А между тем при оценке отражательного процесса, как *феномена* естественной природы, прежде всего и необходимо вскрыть биологические корни сознания.

Проблема психического для нейрофизиолога и философа стала своеобразным "силомером". Только выразив свое отношение к этой проблеме, нейрофизиолог находит свое место в потоке исследовательской мысли и более четко намечает перспективы своей дальнейшей работы. Именно это обстоятельство, я бы сказал, *направляющее значение* проблемы психического, и делает ее притягательным объектом для нейрофизиолога.

Мы не должны забывать также, что богатейшие исследования

в области условных рефлексов и общей нейрофизиологии делаются оправданными только в том случае, если они хоть в малой степени приближают нас к пониманию движущих сил и природы человеческого поведения, психической деятельности человека. С этой точки зрения вряд ли можно надеяться, что кто-либо в одиночку мог разрешить всю проблему психического со всеми его корнями и высшим развитием у человека. Мы должны быть довольны скромными успехами каждого из нас, лишь бы только все многочисленные вариации мысли, оттенки формулировок и объяснений материальной основы психического привнесли хоть немножко нового в эту огромную проблему. Джеймс был прав, когда говорил: "Мы все знаем, что такое сознание, пока не пытаемся формулировать его"...

Диалектический материализм указывает точное гносеологическое определение, считая его функцией высокоорганизованной материи — мозга. Наряду с этим мы не имеем к этой формулировке соответствующей физиологической расшифровки, основанной на работах по высшей нервной деятельности и по физиологии нервной системы.

Именно эти трудности, как мне кажется, и создали целый ряд противоречивых, а часто и конъюнктурных формулировок психического. В этом смысле мы должны в дружных усилиях найти те наиболее срочные "параметры" психического, которые могли бы нас приблизить к общеприемлемой формулировке психического.

Конечно, нельзя принять весьма упрощенных формулировок психического, когда просто отождествить условный рефлекс и психическое. На этой почве вырастает представление, что условный рефлекс это именно и есть психический акт, в то время как безусловный рефлекс является "беспсихическим" феноменом. Едва ли что-либо большее может нам дать, когда психическое отождествляется с принципом сигнальности и появляется тенденция отождествить психическое и сигнальное, хотя у высокоорганизованных животных они объединены в пределах одной и той же реакции.

Мне кажется, что эти попытки не учитывают одного важного обстоятельства, что условный рефлекс и психическое — это различные параметры поведения человека, выросшие исторически из различных потребностей организма и с удовлетворением со-

вершенно различных затруднений организма в приспособлении к внешнему миру.

В самом деле, мы знаем, что сигнальность, т.е. деятельность организма, предвосхищающая будущее, выросла на путях непрерывного отражения абсолютной временной структуры внешнего мира и в предвосхищении именно этого потока непрерывных явлений. Это есть приспособление организма именно к этому своеобразному параметру неорганического мира. Мы знаем также, что принципиально уже примитивная протоплазма и особенно примитивные организмы прошли эту школу опережающего отражения явлений внешнего мира на очень ранних ступенях развития.

Едва ли кто-либо решится признать наличие психического как сумму внутренних переживаний сложных нервных процессов уже у первичных организмов. Между тем эти первичные организмы, имея элементарную раздражимость, очень хорошо справлялись с функцией сигнальности. Таким образом, говоря об отражении внешнего мира в процессах живого организма и в сознании, мы должны помнить одно основное правило для такого отражения: неорганический мир уже в ранние эпохи своего формирования был *многопараметрным* и потому, естественно, его отражение в свойствах организма шло по пути охвата того или иного параметра неорганического мира в различных процессах живого организма и в различные периоды эволюции. Во всяком случае сигнальность, как способность живой материи к опережающему отражению внешнего мира, развивалась под влиянием пространственно-временной системы мира, и если бы живой организм эволюционировал только с этим свойством своей организации — сигнальностью "предупредительным поведением", то можно теоретически представить, что такое поведение могло бы быть развито и без участия психического. Если бы только организм в процессе эволюции не встретился с *другими препятствиями*, разрешаемыми на других путях его развития.

Итак, мы лицом к лицу столкнулись с вопросом, который неизбежно возникает из приведенных выше рассуждений: какой же параметр внешнего мира и какое свойство самой живой организации исторически стали толчком к появлению первых проблесков ощущения и в какой форме впервые появилось психическое? Мы не делаем акцента на вопросе "когда", начиная

с какого живого существа появилось психическое, но мы ставим вопрос "почему", под влиянием каких движущих факторов и каких параметров жизни появилась необходимость у организмов развить это удивительное свойство психического?

Знакомясь с многочисленными объяснениями психического, я, к удивлению своему, не нашел того подхода, который мне, как физиологу и эволюционисту, всегда казался решающим. В самом деле, если мы все согласны, что психическое подчиняется принципу развития и должно было появиться на каком-то этапе усложняющегося строения нервной системы, то казалось бы первым и естественным вопросом должен был быть вопрос в дарвиновском смысле.

Если какое-то свойство организма появилось в начальной примитивной форме и если это свойство удержалось в процессе многовековой эволюции и, наконец, если это свойство не только удержалось, но и развилось до тех высших этапов, какие мы имели в психической деятельности человека, то совершенно естественно возникает вопрос: мог ли естественный отбор закрепить и сделать фактором прогрессивной эволюции какое-либо свойство нервного вещества, которое не определяло бы значительно больший успех выживания и приспособления и не давало бы более совершенное вооружение организму в борьбе за существование? С точки зрения эволюционной теории Дарвина ответ может быть только один: конечно, это свойство должно было бы элиминироваться естественным отбором уже в первые же периоды своего появления и едва ли кто-либо будет спорить с этим положением.

Но если это так, если первичные проблески ощущений и психического способствовали более успешному выживанию организма и укрепляли его в борьбе за существование, то мы непременно должны выявить то свойство живого и те внешние факторы, которые оправдывали появление и сохранение психического. Итак, *чем обогащался* организм в своей отражательной деятельности, т.е. в своем приспособлении к внешнему миру с появлением первичных признаков психического?

Какие потребности организмов способствовали в процессе эволюции закреплению первичных форм ощущения и развитию их до тех высших форм психического, какие мы наблюдаем у современного человека?

Еще в 1926 году в статье "Диалектический материализм и проблема психического" ("Человек и природа", январь 1926 г.) я поставил эти вопросы в общефилософском плане. Однако после этого ни я сам, ни другие исследователи психического не ставили и не развивали этой проблемы в прямом дарвиновском смысле.

Прекрасная книга А.Н.Леонтьева о развитии психического ставит этот вопрос в более общепсихологическом плане и дает много новых и интересных характеристик психической деятельности. Однако в этой книге мы также не имеем общеэволюционной оценки возникновения первичных форм ощущений и психического.

Ввиду особенной важности такого именно дарвиновского подхода к оценке возникновения психического, я позволю себе сделать более выпуклой и наглядной мою мысль, главным образом, *в отношении определяющих факторов*, под влиянием которых могла возникнуть необходимость в развитии и усовершенствовании этой высшей формы отражения и приспособления к внешнему миру.

В качестве примера можно разобрать развитие локомоторной функции у позвоночных животных. Хорошо известно, что плавание является общей формой передвижения позвоночных до выхода их на сушу. Но именно выход животных на сушу в силу новых биомеханических особенностей потребовал от них новой формы приспособления — *хождения с помощью конечностей*.

Таким образом, определяющим фактором для такого преобразования формы передвижения животных явилось существование животных в таких неорганических условиях, где только реципрокная форма движения конечностей давала *выгоду приспособления*, т.е. способствовала более успешному выживанию.

Но именно этот пример, хорошо изученный в свое время в нашей лаборатории, может служить показателем того, как различные детерминирующие факторы внешнего мира толкают организм на преобразование как его организации, так и отражательной деятельности и определяют само направление этих преобразований.

В личиночном развитии амфибий, например, аксолотля, есть стадия, когда передние конечности имеют вид маленьких двупальцевых выростов, торчащих в стороны и пока еще не достающих земли. В этой стадии развития аксолотль передвигается

только с помощью плавания. Однако выросты еще несозревших конечностей имеют явно регрессивное значение для аксолотля в данной стадии его развития. Увеличивая значительно сопротивление передвижений в жидкости, они должны были бы уменьшить скорость движения и этим самым значительно снизить выживаемость данного вида. Однако эмбриологическое развитие в соответствии с принципом *системогенеза*, т.е. избирательного и ускоренного развития функций, необходимых молодому организму в первую очередь, исправляет этот жизненно важный дефект.

Уже в самом начале формирования передних конечностей ускоренно созревают именно те мышцы, которые в момент плавания (!) *прижимают* еще не созревшие конечности к туловищу и тем самым обеспечивают ему вполне обтекаемую форму.

Таким образом, мы видим, что эволюция какого-либо *прогрессивного* свойства организма расширяет его возможности приспособления и "выходит на сцену" через целый ряд интересных компромиссных приспособлений, которые все вместе обеспечивают один нерушимый закон жизни: *приспособиться и выжить*.

Подобные примеры из эволюции приспособительных форм показывают, что для появления какого-либо нового признака в морфофизиологической организации животного необходимо наличие нескольких закономерностей, которые стимулируют и направляют усовершенствование этого признака. Эти закономерности следующие:

1. Необходимо наличие какого-либо вполне определенного фактора внешнего мира, имеющего четко очерченные физические константы, например, вынужденная необходимость передвижения по суше, как, например, у анаботид. Этот фактор становится определителем как возникновения, так и дальнейшего развития данного морфофизиологического признака.

2. У каждого такого признака неизбежно должен быть его исторический предшественник, обеспечивавший в прошлом менее широкие приспособительные возможности.

3. В процессе эволюции имеется специальный *переходный* период от менее прогрессивной к более прогрессивной форме приспособления, который большею частью формируется на базе всевозможных модификаций прежних форм приспособлений (к примеру "смена функций" Дорна, "полуфункциональность органа" А.Н.Северцова). Этот переход осуществляется в различных

случаях по-разному, в зависимости от характера определяющих факторов эволюции или, образно выражаясь, в зависимости *от физических и биологических свойств самой потребности, которая толкает организм на прогрессивное развитие.*

Мы видим, что все эти три пункта получают вполне четкий ответ в приведенном нами примере перехода от плавания к хождению у амфибий.

В самом деле, прямым определителем этого перехода являются свойства суши как твердой опоры и широчайшие возможности полезного приспособления. Хождение как биомеханический аппарат оказалось наиболее благоприятной формой для использования всех приспособительных возможностей на суше. Но оно по ряду признаков есть только в определенном направлении усовершенствованное плавание (реципрокность, функция передних плавников и т.д.).

Разобранные выше общебиологические примеры целиком применимы к проблеме возникновения первичного ощущения, к возникновению примитивных психических способностей и, наконец, к возникновению широкой и совершенной психической деятельности человека.

Желая охарактеризовать психическое, мы часто говорим, что сначала появилось примитивное или элементарное ощущение, а затем оно развилось до более высоких форм психической деятельности.

Но у последовательного эволюциониста, стоящего на позициях диалектического материализма, немедленно должен возникнуть вопрос: какая *"нужда" организма* толкнула его на развитие этого первичного ощущения? И *в чем* это первичное ощущение *более совершенно* приспособило организм к внешнему миру, поскольку оно не только закрепилось естественным отбором, но претерпевало и огромный прогресс в процессе эволюции?

После многолетнего анализа этого вопроса я пришел к вполне определенному ответу, который хорошо согласуется с нашим материалистическим пониманием всей истории развития жизни на земле.

Так, например, развитие сигнальной деятельности у высших животных, как мы увидим ниже, имело своим источником первичное отражение пространственно-временной структуры мира. Именно *временная структура мира*, существовавшая и до

развития жизни, вынудила организм отразить ее в своеобразных морфофизиологических конструкциях, которые стали *аппаратом* опережающего отражения действительности.Это опережающее отражение уже на ранних этапах развития жизни служило основному требованию всего живого — приспособиться и выжить.

Таким же категорическим определителем для появления и развития первичных ощущений был критерий "вредности" или "полезности" данного воздействия на организм в смысле сохранения или разрушения жизни.

Можно привести много доказательств того, что первичные ощущения и их дальнейшее развитие в форме субъективных ощущений и, наконец, их психических коррелятов, несомненно, развились под давлением именно этой жизненной необходимости, и поэтому они обусловили значительный качественный скачок в прогрессивном развитии приспособительных возможностей организмов. Последние приобрели в этом свойстве *ощущения* мощное оружие почти моментального и глобального "опознания" жизненного значения данного воздействия на организм, а это обстоятельство значительно ускоряло формирование соответствующих данному моменту приспособительных реакций.

Здесь следует отметить одну принципиальную особенность первичных ощущений или даже предощущений. Они приобрели *глобальность*, фокусированость целого организма на одном каком-то качестве состояния, которое уже не локализовалось только по какому-либо отдельному органу. Это и была самая высшая интеграция всех частей организма на одном фокусе — ощущении. Одновременно с этой интеграцией приобреталось и качество этого ощущения, особенно отрицательное, нечто подобное болевому, которое являлось самым верным сигналом к смертельному разрушению организма.

Отныне это новое свойство живой материи дало возможность организму классифицировать все факторы внешнего мира на две биологически важнейшие категории — отрицательные и положительные. Прогрессивно развиваясь до самых высших форм психической деятельности, эти два состояния перешли к высшим животным в форме извечной антиподной пары ощущений — "страдания и удовольствия". В ощущении организм получил свою высшую интеграцию, всегда формирующую адекватную реакцию по отношению *жизненного значения* данного воздействия.

Теперь мы можем уже ответить на поставленный нами выше вопрос: в чем же более совершенно это новое свойство материи приспосабливало организм к условиям его существования, поскольку такой прогресс является категорическим условием для закрепления его естественным отбором?

Для ответа на этот вопрос лучше всего взять такие примеры, которые повседневно проверяются нашим опытом и, особенно, медицинской практикой.

Допустим, что в кожу руки погружается игла. С помощью каких критериев человек мог бы определить вредность этого воздействия для своей жизни? Он может, конечно, рассчитать в долях миллиметра погружение иглы, толщину иглы, толщину эпидермиса кожи, разрушение сосудов и, наконец, он может подождать некоторое время, чтобы убедиться в безвредности или вредности данного воздействия для его организма — заболел он или не заболел?

Все перечисленные выше критерии вредности делаются совершенно ненужными у обычного нормального человека, поскольку при определенной степени погружения иглы он начинает вдруг *ощущать* чувство боли, интегрирующее весь организм на формирование оборонительных мероприятий.

Врачам хорошо известно, как трудно предупредить разрушение той части организма человека, которая почему-либо потеряла болевую чувствительность ("пролежни") и как много требуется расчетов, чтобы вовремя перевернуть больного или не положить ему на анастезированную кожу слишком горячей грелки.

Таким образом, мы видим, что субъективное ощущение, раз появившись, в процессе эволюции определило самую высшую интегрированность организма и вместе с тем организм получил наиболее совершенную и экономичную оценку степени вредности и полезности внешних воздействий. Несомненно, это были первые в истории живого мира *отражения внешних воздействий в примитивном субъективном состоянии*. С этого момента в субъективном психическом состоянии могли быть собраны все детальные процессы организма. Все компоненты таких состояний оказались в "снятом виде", и только фокус *субъективного состояния, являясь* теперь представителем целого организма, стал руководящим фактором.

С дарвиновской точки зрения, с появлением первого субъек-

тивного ощущения была достигнута наилучшая форма приспособления к внешнему миру. Достаточно стало появления лишь определенно окрашенного субъективного состояния, чтобы организм получил точнейшую информацию о том, как ему поступать и строить свое поведение в данной ситуации. Этим самым доказывается, что сознание, как фактор эволюции, целиком подчиняется ее основному требованию — *выживает и прогрессирует только то свойство или признак организма, который обеспечивает наилучшее приспособление данных живых существ к окружающей обстановке.* Сознание же, как прямое производное точного отражательного процесса в субъективном ощущении, получает прямую проверку практикой, результатом приспособления.

Пожалуй, наиболее демонстративным примером огромного приспособительного значения первичных ощущений является роль эмоционального фактора в осуществлении висцеральных и вегетативных функций человека. Каждому взрослому человеку хорошо известно, что только *успешный* вегетативный акт сопровождается положительным субъективным эмоциональным ощущением и, наоборот, неуспешность или ненормальность его выполнения ведет к тягостному эмоциональному ощущению.

Допустим, что у человека оказался неудачным акт мочеиспускания или даже нарушение координированных соотношений между отдельными отделами кишечника. Человек не может сказать, какие нервные клетки, какие мышцы, а иногда даже и какие органы не выполнили успешную функцию, но тем не менее общее эмоциональное состояние, т.е. отражение этого неудачного объективного процесса в субъективном, с поразительной точностью дает знак о неблагополучии.

И даже неудачное чихание, т.е. начавшийся, но не закончившийся чихательный акт, оставляет тягостное эмоциональное ощущение. Мы знаем сейчас отчего это происходит: центральная нервная система в случае неуспешного акта не получает гармонического интеграла афферентных сигналов от исполнительных органов — она не получает *образа успешного результата.*

Итак, уже на ранних этапах появления первичных субъективных ощущений, они включились в важнейшие функции целого организма: благодаря субъективному отражению организм стал получать сигналы о благополучии там, где он никакими другими

средствами не мог бы оценить жизненную важность этого неблагополучия.

Так эволюция защитила наиболее существенные функции организма. Вместе с тем этот последний получил способность отражать в первичном субъективном состоянии самые разнообразные, но всегда жизненно важные воздействия.

Этот последний факт является наилучшим доказательством материальной природы самого отражательного процесса и теснейшей зависимости психического образа от реального объекта действительности. Мы знаем сейчас, что в момент учета организмом всего окружающего его мира сопоставление внешних объектов с его собственными потребностями происходит при широкой мобилизации отражательной деятельности и тех образов, которые она формирует. Мы знаем также, что происходит главным образом в той стадии формирования поведенческого акта, когда происходит обширная мобилизация афферентных информаций, т.е. когда произвольный акт совершается впервые, т.е. решение выносится впервые. И мы знаем также, что сознание, как высокоактивный и интегрированный акт, уходит из деятельности, как только данный поведенческий акт становится автоматическим и не нуждается в непрерывной афферентной коррекции, но оно немедленно появляется и вмешивается как корригирующий фактор, как только акт оказывается неуспешным. Это еще одно лишнее доказательство того, что сознание является *оперантным фактором*, реально отражающим реально существующий мир со всем разнообразием его предметов и явлений.

Мы не можем оставить в стороне вопрос о том, что представляет собой внутренний субъективный образ отражаемой действительности. Является ли он "копией" отражаемого объекта, является ли он "образом"?

Интересно отметить, что вопрос о природе отражаемого образа глубоко интересовал и В.И.Ленина. Он давал целый ряд определений внутреннего образа сознания и все они характеризуют его крайне осторожное отношение к этой проблеме. Обсуждая эту проблему в начале нашего столетия, В.И.Ленин знал, конечно, что уже на уровне сетчатки и оптического нерва зрительный образ превращается в нервные импульсации и, следовательно, прекрасно осознавал, что в конечном пункте отра-

жательных процессов, т.е. в сознании, он, хотя и является достоверным документом действительности, тем не менее чем-то отличается от нее. Ниже я приведу несколько формулировок Ленина, которые послужат доказательством высказанного выше положения.

"Цвет похож на вызывающее его цветовое воздействие, как на объективный процесс, но относительно".

"Теория физиков оказывается отражением существующих вне нас и независимо от нас тел, жидкостей, газов, причем отражение это, конечно, приблизительное, но "произвольным" назвать это приближение или упрощение неправильно".

"Познание — есть отражение человеком природы. Но это *не простое, не непосредственное, не цельное отражение*, а процесс ряда абстракций, формулирования, образования понятий, законов и т.д., каковые понятия, законы и т.д., и охватывают условно, приблизительно универсальную закономерность вечно движущейся и развивающейся природы".

"Сознание и там и тут есть только отражение бытия, в лучшем случае приблизительно верное (адекватное, идеально точное) его отражение".

"Речь идет вовсе не о неизменной сущности вещей и не о неизменном сознании, а о соответствии между отражающим природу сознанием и отражаемой сознанием природой".

С точки зрения широко понимаемой теории информации достаточно того, что "образ" внешнего мира соединяет в себе на последнем этапе отражения всю совокупность реальных параметров внешнего мира.

Возникает лишь вопрос, в каком коде воспроизводит эти параметры психическая деятельность человека, его сознание. Воспроизводится ли сознанием вновь (!) и целиком объективный образ *в его натуральных параметрах*, подобно перекодированию электромагнитных волн на телевизионном экране? Или эти параметры соединены какой-то другой связью и формируют другую синтетическую модель?

Весьма возможно, что сознание и есть последнее и наиболее совершенное декодирующее устройство, которое превращает все виды нервных кодов в натуральный образ внешнего объекта.

С точки зрения гносеологической, нам важно то, что этот высший уровень отражательной деятельности дает исчерпывающе

точное отражение параметров внешних объектов. Наличие же точнейшего и успешного приспособления живых существ к внешнему миру является наилучшим доказательством их реального существования и их точного отражения в психической деятельности. Мне кажется, что уже сам факт появления в ходе эволюции живых организмов психической деятельности и наличие у нее способности фокусировать все состояние целого организма в одном единственном сознательном акте дает нам возможность допустить и появление в этом сознании синтеза подлинных и важнейших параметров наблюдаемого объекта. Устранение реальных образов действительности при автоматизированном поведении является дополнительным доказательством появления сознания в момент наивысшей интеграции всех сторон деятельности целого организма.

Пожалуй, наилучшим доказательством того, что формирование образа в сознании требует максимального вовлечения нервных элементов, является потеря сознания при приеме некоторых наркотических веществ, действие которых состоит в блокаде определенных нервных центров. Еще более демонстративным является отделение сознания и психической деятельности от болевых ощущений в операции, как это делают, например, современные наркоанальгетики. Известно, что люди под этим наркозом абсолютно не испытывают болевых ощущений во время операции и даже, больше того, могут свободно и разумно разговаривать с хирургом и с окружающими. Этот случай показывает, что отражательный процесс обладает высокой степенью точности и реальности и имеет свои собственные *химически своеобразные* нервные элементы и синаптические организации.

4. ОПЕРЕЖАЮЩЕЕ ОТРАЖЕНИЕ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ

Из предыдущего изложения следует, что отражение внешнего мира, как универсальный процесс взаимодействия организма и окружающей обстановки, имел большую историю развития и на протяжении этой истории совершенствовался и механизм передачи информации. Особенно это относится к способам кодирования и декодирования информации по различным этапам центральной нервной системы.

Однако на протяжении всего этого изложения мы держались в пределах, так сказать, одномоментного воздействия внешнего мира на организм и его одномоментного отражения в системах организма. Мы сознательно исключали до сих пор один из важнейших факторов внешнего мира, именно, *пространственно-временной континуум* мира (Эйнштейн), в котором развивалась первичная жизнь и которое оказало решающее влияние на все последующие этапы эволюции жизни на нашей планете.

В какой форме пространственно-временной континуум неорганического мира и в особенности время отразились в конструкции и деятельности живых организмов? Ведь эти последние volens nolens должны были "вписаться" в эту всеобщую закономерность неорганического мира. Отвечая на этот вопрос, мы должны, как и раньше, прежде всего сформулировать и описать те параметры времени, которые являются его специфическими чертами и которые приобрели жизненно важное значение для организма. Это сделать надо уже по одному тому, что мы на всем протяжении этой работы подчеркивали, что *параметризация внешнего мира*, т.е. выделение в нем значимых и незначимых параметров, является абсолютно необходимым условием для научного понимания материальной основы отражательной деятельности.

Несколько лет тому назад я уже изложил нашу концепцию относительно "опережающего отражения действительности" в более подробном виде. Именно к этой работе я и отсылаю читателей для более детального ознакомления с этой концепцией. (Вопросы философии, 1962, № 7). Сейчас же я лишь вкратце дам те новые соображения, которые мы развивали в этом направлении на протяжении последних лет.

Наличие пространственно-временного континуума во всех явлениях природы неизбежно должно было сказаться на деятельности организма. В частности, человек отразил временные параметры мира в своей организации и в своей деятельности с исключительной точностью. Анализ роли временных параметров мира в развитии жизни на земле показывает, что и зарождение жизни, и ее прогресс находились в прямой зависимости от приспособлений к этим параметрам.

Можно утверждать, что одномоментное отражение внешнего мира в деятельности животных организмов представляет собой

только отдельный фрагмент из огромной и бесконечной цепи внешних событий, развивающихся во времени. Возникает вопрос, какие же параметры временной структуры мира приобрели особенное значение для отражательной деятельности и для выживания организмов?

Самым естественным было бы думать, что *последовательность внешних явлений*, которая представляет собой conditio sine qua non пространственно-временного континуума, и должна была бы иметь решающее значение. Однако более глубокий анализ этого вопроса показывает, что на самом деле этот параметр временной структуры мира не смог бы обеспечить ни появление жизни, ни ее эволюционного прогресса.

В самом деле, представим себе на минуту, что внешняя последовательность явлений представляет собой бесконечный ряд переходящих одно в другое событий, *никогда не повторяющихся и не похожих друг на друга*. При такой предпосылке сохранялась бы важнейшая черта пространственно-временного континуума, т.е. последовательность. По сути дела, такой мир, имеющий только простую последовательность событий, практически мог бы существовать, если бы этот мир был только неорганическим. В самом деле, камню и морю совсем безразлично, в какой последовательности развиваются внешние события. Фигурально выражаясь, неорганический объект не имеет специальных "претензий" к параметрам времени. Однако отношение к этому параметру времени радикально меняется, как только на земле, в ее "первородном океане" появились первые зачатки жизни. Для развития жизни кардинальным условием стала не простая последовательность событий, а *периодически или ритмически повторяющаяся последовательность отдельных фрагментов* из бесконечного континуума явлений в общей картине мира. Только при этих условиях стали возможными и приспособление живого к внешним событиям, и прогресс его материальной организации (см. Вопросы философии, 1962, № 7). Естественно, и отражательная деятельность организма приобрела от ритмически повторяющихся явлений специальный стимул для формирования стабильных структур.

Временная структура мира фактически является таковой, что по самой своей сути, имея более короткие и более длинные последовательно повторяющиеся явления, она способствовала по-

явлению самой жизни. Такие постоянные циклы, как осень, зима, весна, лето или утро, день, вечер, ночь были фундаментальными развивающимися циклами и это способствовало приспособлению и закреплению первичных живых организаций. Если проанализировать всю нашу жизнь, то, по сути дела, процесс *повторных воздействий событий* мира на нашу нервную системы окажется самым существенным временным фактором. Мы повторно ходим много раз по одной и той же улице, на нас повторно также действуют многие и именно одни и те же объекты, и все это составляет основной временной фактор отражательной деятельности нашего мозга.

Этот же параметр времени — повторяющиеся ряды явлений — послужил толчком и к развитию исключительной способности живых организмов, которая определила весь прогресс природы и человеческого общества. Представьте себе, что какая-то последовательность явлений внешнего мира с определенными большими интервалами времени действует на уже сформировавшуюся живую клетку. В этих случаях создаются совершенно исключительные условия для своеобразной формы отражения действительности в протоплазме этой клетки.

В самом деле, как мы хорошо знаем, внешние явления представляют собой пространственно-временной континуум (например, сезонные температурные смещения). Эти явления действуют на клетку, протоплазматическое содержимое которой имеет микроразмеры, и, следовательно, последовательные химические изменения клетки от последовательных явлений внешнего мира также совершаются в микроинтервалах пространства и времени. Другими словами, с появлением живой субстанции появился принципиально новый вид отражательной деятельности — макромир через целую серию преобразований в больших интервалах времени отражается в микромире, т.е. в быстрых молекулярных перестройках протоплазмы живой клетки. Отсюда следует вывод, что живая протоплазма приобретает свойство кумулировать и накоплять информационные посылки от внешнего мира, конденсируя их в микроинтервальных связях.

Однако это еще не все то принципиально новое в отражении внешнего мира, что появилось с формированием живой субстанции.

Именно потому, что явления внешнего мира развиваются в

форме пространственно-временного континуума, живая протоплазма также отражала этот континуум в непрерывной цепи молекулярных перестроек. А это значит, что *пространственно-временной континуум внешнего макромира трансформируется в химический континуум молекулярных процессов микромира живых существ.* Такому отражению внешнего мира чрезвычайно способствовали следовые реакции химических процессов в протоплазме, которые возникали от непрерывного действия внешних явлений. Так создавались все условия отражения внешнего континуума в химическом микроконтинууме протоплазменных процессов.

Надо представить себе на минуту мир химических процессов протоплазмы, в которых непрерывность внешних явлений отражается в форме непрерывных цепей химических перестроек, перекрывающихся друг с другом и взаимодействующих друг с другом. Именно из этой химической основы и родилось то "чудо", которое в дальнейшем определило весь прогресс живых организмов.

Благодаря многократному, а для некоторых внешних явлений, может быть, и многомиллионному повторению того же самого ряда молекулярных перестроек создались весьма благоприятные условия для *воспроизведения всего ряда молекулярных перестроек в протоплазме под действием только начального звена в цепи* внешних событий. Благодаря химическому сцеплению целого ряда процессов создались условия для воспроизведения всей цепи протоплазматических процессов от начального толчка из внешнего мира. *Протоплазма приобрела способность развитием своих молекулярных процессов — опережать во времени и пространстве закономерное течение последовательных событий внешнего мира.*

Несколько лет тому назад мы назвали это свойство живых организмов "*опережающим отражением действительности*" (Анохин, 1962), а констатированная значительно ранее эта способность нервной системы была названа "опережающим возбуждением" (Анохин, 1957).

Широко оценивая это свойство живой субстанции, мы должны сказать, что организмы, приобретя способность опережать ход внешних событий, тем самым стали с наибольшей выгодой приспосабливаться к будущим часто опасным явлениям внешнего мира задолго до того, как эти явления будут иметь место.

Живой мир дает огромное количество примеров такого приспособления к будущим явлениям, где повторения происходят на протяжении миллиардов лет, как например, последовательность осень—зима. В результате мы видим, как весь растительный мир значительно опережает события, развивая под влиянием первых осенних похолоданий такую цепь химических реакций, которая нужна будет для предотвращения вредных воздействий первых зимних морозов только в будущем (Максимов. "Морозоустойчивость растений"). Благодаря этой способности опережать ходом своих протоплазматических процессов реальные внешние температуры, растение спасает себя также и от возможных внезапных заморозков.

В особенно демонстративной форме этот процесс опережения событий, как приспособительный процесс, был показан у куколок некоторых насекомых (например, паразитической осы Barkon ceptit), которые по условиям развития вынуждены бывают перезимовывать на открытом воздухе. Этот факт вызывал немало удивления в среде ученых и оставался интригующей загадкой. Как может куколка бабочки, содержащая достаточное количество воды в своей протоплазме, устоять против зимних морозов? Настойчивые исследования, проведенные в этом направлении целым рядом ученых, привели к поразительным открытиям, которые раскрыли эту загадку. Оказалось, что уже первые осенние похолодания стимулируют в протоплазме клеток, составляющих тело куколки, особый процесс: быстрое образование глицерина. Таким образом, секрет был раскрыт, поскольку известно, что глицерин представляет собой вещество, значительно снижающее криоскопическую температуру клеточных масс.

Конкретный эксперимент показал, что уже ранней осенью (или при искусственной обработке куколок температурой в 50° ниже нуля) куколки приобретают способность, благодаря накоплению глицерина, перенести мороз в 40—70°. Стоит поместить куколок в нормальную температуру летнего дня и глицерин из протоплазмы клеток немедленно исчезает (через 3 дня). Особенно поразительно и демонстративно это появление и устранение глицерина у пенсильванских муравьев древоточцев (Companotus pennsilvanicus). С ними можно проделывать эту смену температур несколько раз. И каждый раз глицерин то появляется (до 100%), то пропадает (Dubach P., Pratt D., Asaluna E. и др.).

Таким образом, много миллионов лет ритмически повторяющееся в природе замерзание повело через естественный отбор к выживанию таких мутантов, которые хоть в какой-то степени могли снизить точку замерзания протоплазмы по первому холодовому сигналу. Этот пример является блестящей иллюстрацией правила опережающего отражения действительности, которое нами было сформулировано выше. Небольшое августовское похолодание специфически отражается в протоплазматических перестройках клеток куколки. Это служит стимулом для синтеза в протоплазме глицерина, который *совсем не нужен еще в августе, но будет абсолютно необходим в декабре.* Его развитие в протоплазме клеток является совершенно очевидным цепным процессом, ускоряющим в тысячи раз отраженный ранее весь ход внешних воздействий. В прошлом же эти воздействия повторялись миллионы лет через различные непрерывно следующие друг за другом стадии в макроинтервалах времени: август—сентябрь—октябрь—ноябрь—декабрь.

Итак, существование опережающей формы отражения объективной действительности является несомненным фактом. Оно есть продукт жизни и, развиваясь в микроинтервалах пространства и времени, приобрело огромное преимущество перед событиями, медленно развивающимися во внешнем мире.

Я не буду здесь останавливаться на том, что наиболее совершенной формой этого своеобразного "заглядывания" в будущее является деятельность нервной системы. Именно в ней, по преимуществу, стала развиваться способность организма к опережению событий, и наиболее демонстративной формой этого является ее способность образовывать условный рефлекс. Именно мозг стал тем органом, который благодаря высокоразвитым рецепторам ежесекундно трансформирует пространственно-временной континуум внешних явлений (Эйнштейн) в химической континуум, который выражается в непрерывной разрядной деятельности нейрональных элементов мозга. Способность мозга фиксировать повторяющиеся последовательности внешних событий, развившаяся на основе примитивных форм отражения, определяет ту изумительную способность человеческого мозга, которая выражается в предвидении будущего в формулировке гипотез и вообще в различных прогностических оценках событий.

И именно благодаря этим мозговым, в основном нейрохими-

ческим механизмам, отражение внешнего мира в сознании стало высшим пунктом отражательной функции организма. Не является ли *опережающее* отражение действительности по своей природе чем-то иным по сравнению с тем отражением, которое было сформулировано и проанализировано классиками диалектико-материалистической философии?

На этот вопрос можно дать вполне определенный ответ: это именно то отражение действительности, о котором говорили классики диалектико-материалистической философии. Однако опережающая форма отражения является более комплексной по своему составу. Нейрофизиологический анализ работы мозга показывает, что отражение внешнего мира фактически и не может быть иным, не опережающим, ибо с информационной точки зрения каждое внешнее воздействие на организм непременно мобилизует в нервной системе также и молекулярный опыт прошлого, связанный с данной ситуацией или с данным раздражителем — стимулом. Это обстоятельство дает возможность мозгу объединить прошлое с настоящим и на этой основе предугадать в детальных параметрах наступление будущих событий. Мы полагаем поэтому, что концепция опережающего отражения действительности является лишь творческим развитием основных положений ленинской теории отражения.

Вместе с тем сам отражательный процесс, передающий точнейшим образом все параметры окружающего нас объективного мира, является продуктом эволюционного развития животной организации на протяжении многих миллионов лет. И поэтому в каждом акте отражения взрослого человека мы имеем подлинный органический сгусток отражательного опыта поколений и настоящей действительности. Нами были вскрыты те закономерности, на основе которых весь опыт отражения внешнего мира организмами, закрепленный в филогенезе наследственностью, вновь возвращается к этому же внешнему миру через развитие зародышей животных. Эту закономерность "подгонки" отражательных способностей организма под его экологию мы в свое время назвали "системогенезом".

Системогенез является подлинным инструментом эволюции, который является как бы посредником в передаче исторического накопления отражательной деятельности предков их потомкам в точном соответствии с их специфическими экологическими фак-

торами. Здесь мы встречаемся с одним из сильнейших аргументов теории отражения: с отражением объективной действительности в структуре и функции бесчисленного количества поколений животных, т.е. *с историческим накоплением отражательного опыта* (поколения).

5. СИСТЕМОГЕНЕЗ КАК ИНСТРУМЕНТ РЕАЛИЗАЦИИ ИСТОРИЧЕСКОГО НАКОПЛЕНИЯ ОТРАЖАТЕЛЬНЫХ МЕХАНИЗМОВ

Концепция системогенеза возникла в нашей лаборатории на основе наблюдений, показавших, что у эмбриона различных животных развитие функций происходит задолго до рождения на основе избирательного созревания именно тех структур, которые необходимы для осуществления этих функций. Речь идет о функциях, которые должны быть императивно готовы к моменту рождения животных, ибо они обеспечивают выживание новорожденного (Анохин, 1937). Механизмы системогенеза обеспечивают ускоренное созревание некоторых структур в то время, когда еще другие структуры весьма далеки от завершения своего роста.

Так, например, круговые мышцы рта (orbicularis oris) получают иннервацию и развивают нейромускулярные синапсы весьма ускоренно и задолго до того, когда другие мышцы лица получают эту иннервацию. Причем, такое ускоренное развитие претерпевает не только круговая мышца рта, но и все другие мышцы, особенно связи в центральной нервной системе, которые в совокупности обеспечивают осуществление сосательного акта. Как известно, функция сосания должна осуществляться немедленно после рождения, в противном случае новорожденный не обеспечивает себе выживания и отметается естественным отбором.

Стоит только посмотреть на различных животных, чтобы увидеть, как разнообразен мир адаптивного отражения внешнего мира, и чтобы понять, каким сложным должен быть процесс подготовки в эмбриогенезе специфических для каждого вида животных функциональных систем. Для развивающейся из икринки рыбы необходимы определенные формы приспособления именно к водной среде. Для гнездящихся на деревьях грачей

вылупившийся грачонок должен иметь к моменту вылупления другую гамму созревших реакций, а для млекопитающихся она будет еще более особенной.

Однако во всех случаях эмбриогенез животных, т.е. его развитие до момента рождения или вылупления, непременно должен обеспечить полноценное функционирование тех функциональных систем, которые приспосабливают новорожденного данного животного к его специфическим экологическим факторам.

В нашей лаборатории на протяжении 40 лет мы изучали эмбрионы самых разнообразных видов животных. У нас были рыбы, амфибии, рептилии, птицы, млекопитающие, наконец, наивысший и совершенный организм среди млекопитающих — живые плоды человека. И у всех изученных нами видов животных мы наблюдали один и тот же закон развития функций в онтогенезе: *задолго до того, как созревают все органы и структуры зародыша, можно наблюдать, как ускоренно и избирательно созревают те структуры организма и особенно его нервной системы, которые абсолютно необходимы для жизненно важных функциональных систем именно в момент рождения.*

Для нас сейчас важно подчеркнуть, что историческое накопление отражательных процессов, обеспечивающих адекватное отражение внешнего мира, у каждого новорожденного находится в точном соответствии с теми внешними факторами, которые на протяжении тысячелетий были решающими для жизни предков данного животного. Этот факт является замечательным в том смысле, что история обеспечивает детальное отражение внешнего мира в мозгу задолго до того момента, когда внешний мир начнет действовать на новорожденного. Другими словами, *закрепленный в структурах исторический опыт отражения внешнего мира предками созревает избирательно, навстречу специфическим факторам внешнего мира, с которым впервые встречается новорожденная особь.* Генетическая информация развертывается в точности адаптирования *к будущим* условиям.

Можно привести поразительные примеры того, насколько точно зафиксированы в наследственных структурах, т.е. в генетическом коде данного животного все детали исторического опыта отражательной деятельности данного вида животных. Я имею в виду первые реакции грача, проявляющиеся сразу же после вылупления его из яйца.

Как хорошо было установлено в нашей лаборатории, реакция приема пищи у только что вылупившегося грачонка является весьма стандартной. В ответ на определенные раздражители грачонок быстро становится в позу готовности, опираясь на 5 точек опоры: два крыла, две ножки и кобчик. Это дает ему возможность, сильно напрягая шейку, раскрыть широко клюв и поджидать закладывания туда пищи отцом.

Какие же стимулы вызывают эту стандартную реакцию? Мы выяснили, что таких стимулов три: звук — карр..., ритмическое движение воздуха и резкое сотрясение гнезда. Интересно, что все эти три стимула являются стимулами естественной обстановки, т.е. имеют место в экологии грача. Завидя отца с кормом, мать слезает с гнезда и начинает издавать громкий звук — карр..., ритмически обмахивая крыльями открытых птенцов. Отец, подлетая к гнезду, резким движением сотрясает его и тем самым еще больше поддерживает развившуюся уже до этого реакцию приема пищи.

Самым интересным для нас сейчас, в связи с обсуждением проблемы отражения, является тот факт, что рецепторы, воспринимающие эти сигналы кормления, созревают с исключительной быстротой и избирательностью, поскольку от них зависит: примет сигнал к кормлению грачонок или нет? Так, например, проверка специальным звукоспектрометром созревания чувствительного органа уха (орган Корти) показала, что в момент вылупления полностью созревшими являются только те чувствительные элементы, которые воспринимают именно *все составные части звука карр...* И наоборот, звуки не входящие в этот спектр, не вызывают никакой реакции и не имеют для себя созревших рецепторных элементов.

Какой замечательный пример исторической фиксации отражательной деятельности в нервных структурах организма и какое блестящее доказательство соответствия этих структур всем важнейшим параметрам отражаемого внешнего мира! Можно привести положительно тысячи примеров, которые могут иллюстрировать один и тот же закон: *внешний мир через серию кодирования информационных процессов отбирает в теле и мозгу соответствующих животных такие структуры, которые в подлинном смысле слова являются протоплазматическим сгустком, точнейшим образом отражающим свойства этого внешнего мира.* Отражающий аппарат мозга как бы "спешит"

в своем эмбриональном развитии "навстречу" тем параметрам внешнего мира, которые на протяжении миллионов лет формировали этот отражающий субстрат.

Поразительный пример этой закономерности дает нам сопоставление развития зародыша птиц с различной экологией. Мы сопоставляли поведение новорожденного грача, находящегося, как известно, в гнезде на верхушке дерева, с поведением птенца мухоловки пеструшки (Museicapa Hypoleica), который выводится и живет первое время после вылупления *в дупле дерева*.

Сравнение дало настолько поразительный результат, что было бы просто наивным считать, что мозг животных развивается по каким-то своим имманентным законам, независимым от отражения действительности. Птенец дуплянки так же раскрывает клюв при приеме пищи, которую приносит мать, однако стимулом для раскрытия клюва для него является *затемнение одного единственного места, на которое он ориентируется, именно — отверстие в дупле*.

Можно ли найти еще более убедительный пример, доказывающий, что вся история развития животных шла в тончайшем отражении важных внешних условий существования и в фиксации этих избранных параметров внешнего мира в специфических структурах мозга. И может ли мозг человека с его высшей формой — сознанием, подчиняющийся в своем развитии абсолютно тем же историческим закономерностям, каким-то образом выпасть из этого закона и не служить для нас высшим отражательным прибором, фиксирующим все детали объективно существующего мира?

Все приведенные здесь, да и многие другие результаты строго научного исследования убеждают нас в том, что вся история развития живой материи до ее самого высшего этапа — мыслящего человека — подчиняется одному и тому же закону: приспособительное поведение организмов, сохраняющее им жизнь и ведущее их к прогрессу, возможно только потому, что внешний мир через разнообразнейшие параметры своего воздействия входит в организм в форме тончайших информационных процессов, весьма точно отражающих основные параметры этого объективного внешнего мира.

ХИМИЧЕСКИЙ КОНТИНУУМ МОЗГА КАК МЕХАНИЗМ ОТРАЖЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ[1]

1. ОБЩАЯ ОЦЕНКА ОПЕРЕЖАЮЩЕГО ОТРАЖЕНИЯ ДЕЙСТВИТЕЛЬНОСТИ

После того как нами была опубликована статья, в которой давалась подробная аргументация нашей концепции об "опережающем отражении действительности" (см. "Вопросы философии", 1962, № 7), в литературе появился целый ряд монографий, статей и замечаний, разбирающих эту концепцию под различными углами зрения. В основном авторы склонны признать "опережающее отражение действительности" одним из путей развития фундаментальных проблем, поднятых ленинской теорией отражения (Т.Павлов, Б.С.Украинцев, М.Ф.Веденов, Г.А.Югай и ряд других авторов).

В самом деле, представление о том, что отражение действительности может быть активным и, так сказать, "забегать вперед" на основании использования прошлого опыта, находится в русле идей ленинской теории отражения и показывает, насколько эффективным может быть применение теории к объяснению явлений отражения внешнего мира.

Опережающее отражение является одной из возможных форм отражения, в процессе которого, вскрывая опыт прошлого, организм активно приспосабливается к предстоящим событиям. Условный рефлекс является наивысшей формой этой изначальной закономерности всего живого.

Эта закономерность формирования живого и приспособления его к внешнему миру лишний раз убеждает нас в несостоятельности критиков ленинской теории отражения, утверждающих, что само понятие "отражение" говорит лишь о пассивном (?!) отношении организма к окружающему миру. Применительно к эво-

---

1 Вопросы философии, 1970, № 6, с. 107—118.

люции организмов мы можем сказать, что отражение действительности всегда было активным процессом деятельности самого организма и на более высоких уровнях эволюции вылилось в непосредственное воздействие на внешний мир с целью его преобразования (употребление орудий и приспособление к внешним условиям).

Можно указать, например, на способность мозга быстро забегать вперед, в будущее в ответ на стимул, действующий только в настоящем. Это проявляется в самых разнообразных формах и, по сути дела, определяет собой формирование непрерывного опережающего "прожектора", освещающего все возможные перспективы нашего сознательного поведения.

Особенно наглядно этот процесс опережения событий, как приспособительный процесс, был продемонстрирован в последние годы на примере куколок некоторых насекомых, которые по условиям развития вынуждены бывают зимовать на открытом воздухе (например, паразитическая оса Barcon). Этот факт вызывал немало удивления в среде ученых и долгое время оставался интригующей загадкой. Действительно, как может куколка осы, содержащая достаточное количество воды в своей протоплазме, устоять против зимних морозов? Настойчивые исследования, проведенные в этом направлении целым рядом ученых, привели к поразительным открытиям, которые полностью объяснили эту загадку. Оказалось, что уже первые осенние похолодания стимулируют в протоплазме клеток, составляющих тело куколки, особый процесс: быстрое образование глицерина. Таким образом, секрет был раскрыт, поскольку известно, что глицерин представляет собой вещество, значительно снижающее криоскопическую температуру клеточных масс.

Конкретный эксперимент показал, что уже ранней осенью (или при искусственном содержании куколок при температуре 5° ниже нуля) куколки приобретают способность благодаря накоплению глицерина перенести мороз в 40—70°. Стоит поместить куколок в нормальную температуру летнего дня и глицерин из протоплазмы клеток немедленно исчезает (через 3 дня). Особенно поразительно и демонстративно это появление и устранение глицерина у пенсильванских муравьев-древоточцев. С ними можно проделывать подобные опыты несколько раз. И каждый раз в зависимости от смены температур глицерин то появляется (до 100%), то пропадает.

Эта способность куколок в ответ на первые похолодания накапливать глицерин, который будет необходим еще только в декабре, является наглядным подтверждением опережающего отражения действительности, выработанного на протяжении миллионов лет.

Из дальнейшего изложения и особенно из разбора специфических механизмов мозга можно будет видеть, каковы механизмы реализации этого опережающего отражения действительности.

2. ПРОБЛЕМА "ВПИСАННОСТИ" ЖИВОГО В АБСОЛЮТНЫЕ ЗАКОНЫ НЕОРГАНИЧЕСКОГО МИРА

Перед биологами и физиологами возникает новая и интересная проблема, которую можно было бы охарактеризовать как проблему "вписанности" живого в фундаментальные законы неорганического мира. Можно выделить весьма большое количество процессов и явлений неорганического мира, к которым живые организмы приспособились в ходе эволюции по принципу volens nolens.

В самом деле, возьмем для примера силу тяжести. Она имела место задолго до появления жизни, а в масштабе целой Галактики и целой Вселенной, конечно, представляла собой изначальное свойство материи.

И действительно, наличие силы тяжести послужило причиной того, что у разнообразных животных были выработаны вынужденные приспособления самого удивительного характера. Так, например, у пресмыкающихся сила тяжести определяет своеобразный характер передвижения, у птиц — многообразные способы полета, а у рыб — развитие органов и систем регуляции, позволяющих им использовать "тяжесть" тела в соотношении удельного веса тела и воды и т.д.

Мы можем доподлинно сказать, что развитие всего живого, его самых существенных черт структурно-функциональной организации, развитие самых прочных межнейрональных связей определяются действием законов всемирного тяготения. По сути дела, начало этого процесса восходит к периоду зарождения жизни, или, точнее, к периоду формирования предбиологических систем.

Точно так же все детали организации разнообразнейших структур органов чувств точнейшим образом "пригнаны" к энергетическим свойствам внешнего мира. В более широком плане мы имеем подлинно активное отражение законов неорганического мира, с которыми встречались и всячески взаимодействовали все живые организмы нашей планеты. Мы можем сказать, что активное отражение изначальных свойств внешнего неорганического мира в основных структурных формах животных является абсолютным законом жизни.

На фоне этой фундаментальной закономерности движения материи пространство и время являлись особенно фундаментальными постоянными факторами, которые уже с момента зарождения жизни воздействовали на все живое. Живое неизбежно должно было "вписаться" во всеобщий закон, и только благодаря приспособлению к пространственно-временным взаимодействиям жизнь могла сохраниться на нашей планете. Постараемся представить себе, к каким фундаментальным приспособлениям животных повели пространственно-временные факторы.

3. ПРОСТРАНСТВЕННО-ВРЕМЕННОЙ КОНТИНУУМ КАК ФАКТОР БИОЛОГИЧЕСКОЙ АДАПТАЦИИ

В основе нашей оценки приспособительной деятельности животных лежит необходимость признания искусственного выделения отдельных важчых моментов в жизни этих животных. Так, например, говоря о действии стимула на организм, мы считаем это искусственное допущение основополагающим в понимании деятельности организма. Именно оно позволило сформулировать представление о дискретных актах животного и о дискретном действии внешних факторов на организм.

Успехи последних лет в области физики и других наук все более и более позволяют нам сделать вывод о том, что развитие событий в мире идет на основе непрерывно-прерывного движения материи.

Это представляет собой абсолютный закон, в одинаковой степени неизбежный как для неорганического, так и для живого мира.

Однако "биологический экран" здесь вносит существенное дополнение, создавая прерывность в этом движении материи в

соответствии с биологической значимостью различных компонентов континуума.

В самом деле, совсем не все компоненты континуума необходимы, например, животному, с точки зрения выживания. Некоторые из них могут иметь решающее значение для жизни животного, тогда как другие не играют для него никакой роли. Появление, например, крупного хищника является жизненно важным событием, в то время как движение листьев на дереве или движение воды в реке может остаться незамеченным. Именно эти факторы биологической значимости отдельных событий создали для животного своеобразную прерывность пространственно-временных отношений. Однако об этом далее.

Как известно, имеется несколько типов пространственно-временного континуума. В первом, наиболее простом случае, в так называемом одномерном континууме, любое положение точки, движущейся в одном направлении от исходного пункта, может быть определено координатами пространства и времени, которое понадобилось для продвижения точки к данному пункту. Суть этого типа континуума состоит в том, что любому возможно малому показателю пространственного продвижения точки может соответствовать столь же малый интервал времени. Мы можем эти отрезки пространства и времени сделать максимально малыми и, таким образом, на этом микроуровне получить фактически пространственно-временной континуум, составляющий как бы индикатор материальных процессов.

Но мы можем оторвать эту точку от одномерного континуума и поместить ее на какой-либо плоскости, придав ей еще одну степень свободы (движение в различных направлениях) в пределах ограниченной плоскости. Тогда положение точки на каждый данный момент может быть определено уже по двум осям координат. Следовательно, куда бы и как бы эта точка не передвигалась, ее положение всегда может быть "засечено" и выражено двумя величинами, фиксирующими ее положение по двум координатам.

Для нас в этом втором типе пространственно-временного континуума важно то, что передвижение точки и здесь может быть представлено в микрорасстояниях и микроинтервалах времени, что позволяет выразить ее различные положения в координатах двумерного континуума.

Еще дальше, усложняя, как это делает Эйнштейн, данный пример, можно поместить нашу точку таким образом, чтобы она продвигалась в трех измерениях. Тогда, следовательно, ее положение в каждый данный момент может быть оцениваемо по отношению к трем перпендикулярным плоскостям. Однако наряду с этим такая точка может передвигаться и менять свои положения и время продвижения так же в зависимости от интервалов пространства и времени. Поскольку эти интервалы могут быть взяты в мыслимых микроразмерах пространства и времени, мы опять-таки, как и в первом случае, будем иметь континуум, однако более сложного характера, чем это мы разбирали до сих пор. Это будет уже трехмерный континуум.

Любое тело, живое или неживое, находится в непрерывно меняющемся трехмерном пространственно-временном континууме. Это составляет существенную сторону бытия всего живого на земном шаре. Но именно поэтому мы полагаем, что отношения живого к внешнему миру нужно понимать как непрерывную переработку информации в протоплазме или — на высших уровнях эволюции живого — в его нервной системе, как обработку континуума воздействий, не имеющего скачкообразного разрыва в пространстве и во времени.

Как нейрофизиолог, я могу настаивать на этом положении, потому что практически все временные параметры, в которых функционирует нервная система, оказываются значительно более длительными и значительно более компактными, чем минимальные интервалы в течение событий пространственно-временного континуума внешнего мира. С другой стороны, явления внешнего мира, развивающиеся в пространственно-временном континууме, могут находиться в большом удалении друг от друга, и тем не менее они непрерывно фокусируются в одном и том же мозге, в одних и тех же нервных клетках.

Так, например, реактивный самолет, летящий по небосклону перед нашими глазами, может, продвигаясь в пространственном континууме, за несколько минут преодолеть десятки километров, и тем не менее все его положения от начальной и до конечной точки видения как в фокусе отражены в микроинтервалах пространства и времени в форме непрерывного течения нейрональных процессов мозга.

Именно этот чудесный механизм живого образования, кото-

рый фокусирует в микроскопическом пространстве грандиозные интервалы пространственно-временного континуума внешних явлений, стал центральным пунктом всей эволюции жизни на земле. Только благодаря такому биологическому экрану, фокусирующему огромные масштабы событий внешнего мира в молекулярных реакциях мозговой ткани, стало возможно "объять мир" во всем его разнообразии и во всей его грандиозности небольшим кусочком мозгового вещества. Неспециалисты часто забывают об этом грандиозном достижении эволюции, благодаря которому мы, люди, на высшем этапе ее приобрели способность в короткие временные интервалы охватить явления и события, протекавшие в масштабах целого земного шара. Этому способствовали молекулярные процессы в нервных клетках, принимающие на себя и отражающие грандиозные масштабы Вселенной с помощью непрерывных процессов, проходящих в самых разнообразных органах чувств. Ниже мы увидим, какие специфические особенности организма и мозга помогают объять и приспособиться к этому безграничному пространственно-временному континууму мира.

4. ПОНЯТИЕ О ХИМИЧЕСКОМ КОНТИНУУМЕ В МОЗГОВЫХ ПРОЦЕССАХ

Достижения философии, физики и математики последних лет показали, что традиционный подход к изучению нервной деятельности и поведения животных уже не может удовлетворить нейрофизиологов. Стало очевидным, что искусственное дробление нервных процессов и в особенности поведенческих актов животного не может удовлетворить исследователя, который хочет понять смысл этих явлений в аспекте совершенно достоверной архитектуры мира, складывающейся и развивающейся в рамках закона пространственно-временного континуума.

В самом деле, если я начинаю исследовать животное и начинаю исчислять его способности к поведенческим актам только с момента начала опыта, то это является совершенно ясным изъятием животного из сложного контиуума его жизни и во многом подчиняет исследование процессов, протекающих в его мозгу, концепциям и замыслам исследователя. Эта искусственная дискретизация явлений внешнего мира особенно значительно проявляется в области нейрофизиологии в изоляции стимула,

который, по представлению физиологов, занимает исключительное положение в формировании поведенческих актов животного. По сути дела, мы все воспитались в атмосфере, в которой роль стимула как абсолютного решающего фактора поведения была насомненной.

В последние годы на основании новейших успехов нейрофизиологии становится все более и более ясным, что стимул является лишь толчком к раскрытию и выявлению того, что создавалось в мозгу под влиянием многих факторов как нечто целостное, интегрированное. Стимул же является лишь толчком, раскрывающим эту подготовленную интеграцию. В свое время эту скрытую и ни в чем себя не проявляющую внутреннюю мозговую интеграцию мы назвали "предпусковой интеграцией" (П.К.Анохин, 1949).

Но что такое "предпусковая интеграция"? Это — состояние, выраженное в многочисленных связях нервных элементов, которое складывалось в непрерывном континууме в течение, например, дня, когда проводился эксперимент. В самом деле, уже одного прихода служителя в виварий за экспериментальным животным в определенное время дня достаточно, чтобы в мозгу сформировался комплекс нервных процессов, отражающий все детали будущего эксперимента и будущего подкрепления животного жизненно важными стимулами (корм, боль и т.д.). Практически между всеми деталями этого непрерывного сцепления явлений мы не найдем какого-либо разрыва, который мог бы быть нарушителем континуума. Совершенно очевидно, все явления внешнего мира только искусственно могут быть подвергнуты какой-то дискретизации, на самом деле они развиваются в подлинном пространственно-временном континууме.

Таким образом, жизнь животного в целом мы могли бы охарактеризовать как "дискретное" появление жизненно важных узловых событий, возвышающихся над подлинным континуумом незаметных для него явлений жизни. Мы так привыкли, что в нашу жизнь вторгаются отдельные события, которые существенно затрагивают наше состояние, вызывают эмоциональную реакцию, что существование истинного пространственно-временного континуума представляется чем-то нереальным, неощутимым. Тенденция развития биологического объекта такова, что организм неминуемо "засекает" все, составляющее существенные

стороны его жизни, его достижений и его неудач. И тем не менее все эти островки значимых для нас событий соединены между собой подлинным континуумом явлений и процессов, которые хотя и не имеют решающего жизненного значения, но все же являются соединительными звеньями в подлинном континууме мира. Этим самым достигается универсальный охват всех компонентов контиуума, одни из которых жизненно важны, а другие служат сигналом для появления их.

Современная нейрофизиология на основе нейрохимических молекулярных процессов доказывает, что жизненная значимость отдельных событий представлена в мозгу даже в специфических химических процессах мозга, которые как бы засекают "шаги" этих жизненно важных событий. Так, например, мы имеем различную химию страдания, тоски, страха, радости и других существенных эмоциональных переживаний и событий в жизни животных и человека. Существенность всех этих явлений человека и эпизодический прорыв их в сознание приводят к тому, что истинный пространственно-временной континуум нашего поведения субъективно не воспринимается нами как континуум.

Если взять бесконечное количество примеров нашего поведения, то при тщательном анализе можно убедиться, что они раздражают нашу нервную систему в совершенно непрерывном континууме.

Попробуем теперь с помощью воображения перенестись внутрь мозга, в бесконечное множество его процессов, отражающих действительность. Современная техника исследования мозга сделала возможным не только изучение грубых, суммарных электрических явлений в мозгу, имеющих место во время его деятельности. Электроника и ее тончайшие приборы дают возможность проникнуть в деятельность любой нервной клетки из всех четырнадцати миллиардов клеток мозга. Такой подход значительно расширил наши представления о тонких процессах, развивающихся в нервной клетке в момент ее деятельности под тем или иным воздействием внешнего мира. Каждая нервная клетка имеет в среднем около 5 тыс. контактов с другими нервными клетками и с органами чувств. Кроме того, каждая нервная клетка может испытывать по крайней мере 6 разнообразных общих состояний. Очень трудно представить себе то количество возможных специфических состояний, которые может испытать мозг при наличии такого огромного количества переменных.

Мы можем поставить вопрос: как же вся эта необъятная комбинация нервных процессов, происходящих в мозгу, отражает непрерывное течение внешних событий в различных пространственных и временных комбинациях? "Мудрость мозга" определяется не только тем, сколько количественных показателей он способен обработать, но и тем, как мозг отражает все свойства пространственно-временного континуума внешнего мира в его динамических процессах и в качественной особенности его структурных взаимоотношений.

Представим себе на минуту, что непрерывный ряд внешних событий: *a*, *b*, *c*, *d*, *e*, ... последовательно действует на нервную систему человека и это действие осуществляется с интервалами, которые могут быть выражены в миллисекундах. В таком допущении нет ничего невероятного. Наша жизнь заполнена такого рода действиями. Можно взять любой пример из нашего повседневного поведения и показать, что оно складывается из непрерывных, одно в другое переходящих действий и из таких же непрерывных афферентных возбуждений нервной системы.

Каждому едва заметному продвижению вперед поведенческого акта сопутствует целостный континуум различных впечатлений, следующих одно за другим без заметных интервалов.

Фактически мы ни в одном нашем акте не можем найти какую-либо дискретность, достаточную для того, чтобы мы могли констатировать наличие интервала в виде полного "молчания" нервной системы между какими-либо достаточно отдаленными воздействиями пространственно-временного континуума внешнего мира.

Наши представления о дискретных действиях различных стимулов на организм и о дискретных процессах мозга в значительной степени навеяны формой искусственного эксперимента — внезапным применением нужного нам стимула. Однако, как я уже упоминал, даже и в этом случае процессы, происходящие в мозгу, например, у экспериментального животного, текут в той же непрерывности, как и описанные выше, в естественном поведении.

Очевидно, мы должны будем принять в качестве основного закона работы мозга следующее: абсолютный и универсальный закон неорганического мира — развитие явлений в пространственно-временном континууме — в процессе эволюции живого привел к

тому, что мозг животных как специальный орган отражения и приспособления приобрел свойство непрерывного течения его процессов в полном соответствии с компонентами этого континуума в пространстве и во времени.

Все формы нашего поведения, все вариации его и, как увидим ниже, активный выбор, оценка и классификация живыми организмами отдельных этапов и компонентов этого континуума вписаны в этот великий закон природы. Можно сказать, что все относительное, меняющееся в зависимости от совокупности многих условий жизни, всегда вписано в этот абсолютный закон.

Следовательно, мы должны искать лишь условия и механизмы того, как появляется и как ведет себя относительное и меняющееся в пределах этого абсолютного закона. Именно здесь лежит, по нашему мнению, "точка отсчета" для изучения работы мозга во всем ее многообразии.

Разбирая достоинства теории относительности А.Эйнштейна, Макс Планк так выражает ее отношение к абсолютным законам мира: "В основе так называемой теории относительности заложено нечто абсолютное; таковым является определение меры пространственно-временного континуума, и как раз особенно привлекательная задача состоит в том, чтобы разыскать то абсолютное, которое придает относительному его подлинный смысл. Мы можем исходить всегда только из относительного. Все наши измерения имеют относительный характер. ...Речь идет о том, чтобы во всех этих данных обнаружить то абсолютное, общезначимое, инвариантное, что в них заложено"[1].

В этих словах создателя квантовой теории дана программа для исследования любого, даже весьма незначительного явления на фоне и в рамках абсолютных законов мира. В особенности это положение применимо и даже настоятельно необходимо для изучения эволюции жизни на земле, которую Планк, конечно, меньше всего имел в виду.

В эволюции живого все относительное и вариантное пришито

---

1 *Планк М.* Единство физической картины мира. — М., 1966, с. 20. Разрядка моя.—*П.А.*

весьма "откровенными" нитями к абсолютным законам мира. Особенно отчетливо это иллюстрируется эволюцией мозга.

В дальнейшем изложении мы увидим, насколько тонко все структуры и механизмы мозга оказались приспособленными к максимальному охвату того многомерного континуума мира, который способствовал развитию многих специальных приспособлений в работе мозга, обеспечивающих организму выживание.

Однако сейчас я вернусь к тому, что составляет самую природу этих приспособлений, — к деятельности одиночной нервной клетки, к процессам, происходящим в ее протоплазме. Само приспособление всегда имеет интегральный, системный характер, однако элементарным процессом в этих системах является разрядная деятельность нейрона.

Выше мы установили, что практически при любом движении животного или при выполнении им какого-то поведенческого акта пространственно-временной континуум внешнего мира действует в микроинтервалах времени на его органы чувств и, следовательно, на нейрональные элементы мозга. Как же сами нервные элементы реагируют на эти воздействия компонентов и фаз пространственно-временного континуума?

Для того, чтобы ответить на этот вопрос, мы должны обратиться к физиологическим свойствам нейронов мозга. Одной из самых замечательных особенностей нейрональных элементов мозга является разнообразие их индивидуального поведения, разнообразие реакций на приходящие возбуждения.

Так, например, одни из них переходят на режим повышенной активности в момент действия приходящего возбуждения. Другие, наоборот, находясь в постоянной фоновой активности, переходят во время действия раздражителя в состояние торможения. Одни нейроны прекращают свою ответную повышенную разрядную деятельность с прекращением раздражения, другие, наоборот, еще очень долго в виде "следовой деятельности" продолжают разряжаться. У различных нейронов эта так называемая "следовая активность" может продолжаться различное время. В то время как у одних нейронов она длится всего лишь несколько миллисекунд, у других она может может продолжаться секунды и даже минуты. Ясно, что все это разнообразие индивидуального поведения нейронов мозга в ответ на раздражения является выражением их места, их функционального значения в обширных

интегративных образованиях, складывающихся в процессе формирования сменяющихся функциональных систем организма.

Однако сейчас мы не будем рассматривать эти проблемы с точки зрения нейрофизиологии. С этим можно подробно ознакомиться по ряду солидных монографий, изданных в последнее время[1].

Сейчас же мне хотелось бы обратить внимание читателей именно на те нейроны, а их в головном мозге большинство, которые имеют следовую активность, простирающуюся на целые секунды после прекращения раздражения. Как должны были бы вести себя эти клетки в случае непрерывной смены внешних раздражений в микроинтервалах, то есть по крайней мере в интервалах, определяемых миллисекундами?

Прямые эксперименты с употреблением парных раздражителей или целого ряда раздражений показывают, что происходит неизбежное наложение возбуждений, их суммация и значительное пролонгирование активного состояния нервной клетки. Эта "следовая деятельность" может приобретать различный характер, главным же образом изменяется конфигурация разрядов.

Однако остается бесспорным, что имеет место совершенно очевидное наложение последующих разрядов клетки, возникших в ответ на каждое предыдущее раздражение или на последствие от предыдущей деятельности. Такой процесс, несомненно, происходит ежеминутно и в естественных условиях: при смене, например, многообразных зрительных впечатлений некоторые зрительные клетки с выраженным следовым эффектом находятся в непрерывном перекрытии разрядов, вызванных различными и последовательными зрительными раздражениями. Стоит лишь продумать под этим углом зрения переход из одной комнаты в другую или выход на улицу.

Факт перекрытия активностей определенных нервных клеток мозга не подлежит сомнению. Отдельные компоненты внешнего, пространственно-временнóго континуума могут действовать на слуховой или зрительный аппарат на еще более коротких интервалах, чем те, которые указывались выше. Следовательно, перекрытие деятельности нервных клеток остается постоянным и

---

1 См., например, *И.С.Бериташвили*. Физиология коры головного мозга. — М., 1969.

существенным фактором в работе мозга. Причем важно отметить, что это перекрытие компонентов континуума может быть однородным, то есть подряд могут следовать два различных, например, зрительных, раздражения. Но оно может заключаться и в том, что на одну и ту же нервную клетку падают в небольшом интервале два различных возбудителя, например, звуковое, а потом зрительное.

Это значит, что определенные типы клеток нервной системы по самой своей сути ведут в целом мозгу непрерывную "мелодию" пространственно-временного континуума внешнего мира. Очевидно, именно им принадлежит прерогатива создания абсолютной основы для жизненно важных эпизодов нервной деятельности. Именно они, по-видимому, поддерживают непрерывную вписанность всего относительного и вариантного в абсолютный закон пространственно-временного континуума мира.

Здесь мы подошли к последнему ряду аргументов, направленных в защиту положения о наличии нейрональной деятельности, обеспечивающей постоянный контакт мозга, а следовательно, и организма со всеми процессами, происходящими на разных этапах развертывания пространственно-временного континуума.

Но рано или поздно у нас должен возникнуть вопрос: что же представляют собой по своей глубокой сути, то есть по природе, те клеточные разряды, которые нами улавливаются сейчас с помощью электронной техники как электрические взрывные процессы?

Сейчас не остается сомнения в том, что разряд нервной клетки — это ее "голос", это ее "крик", и в него вложена вся история данного живого существа, обладателя данного мозга. Он отражает многочисленные влияния, пришедшие к данной нервной клетке. Однако по своей глубокой природе этот разряд есть производный эффект весьма специализированных химических процессов, вызванных к жизни пришедшим к нейрону возбуждением.

Итак, все импульсы, приходящие к нервной клетке, трансформируются в ее протоплазме в химический процесс, который только вторично ведет к электрическому разряду.

Любые влияния или возбуждения, действующие на нервную клетку, неизбежно проходят стадию химической трансформации,

которая и определяет кодирование интегративного результата в нервной деятельности клетки в каждый данный момент в форме того или иного рисунка нервных импульсов. Это положение приводит нас к окончательному заключению, которое и составляет основную цель этого раздела работы.

Сам факт наличия следовых разрядов у некоторых видов нервных клеток неизбежно приводит к тому, что химические процессы нейрона, вызванные предыдущими влияниями, перекрываются новыми химическими процессами, вызванными последующим компонентом пространственно-временного континуума.

Иначе говоря, за перекрытием нервных импульсов или клеточных разрядов мы всегда должны видеть перекрытие и химических процессов нейрона в целом. Однако континуум событий внешнего мира не имеет перерыва и не имеет конца. Следовательно, подавляющее большинство клеток мозга непрерывно пребывает в химическом континууме тех реакций, которые вызваны постоянно и повторно раздражающими факторами.

Следовательно, в протоплазме нервных клеток мозга имеет место подлинный химический континуум, отражающий непрерывность событий внешнего мира, то есть его пространственно-временной континуум.

Это и есть то абсолютное, та основа, на которой строится все грандиозное разнообразие структурных и функциональных проявлений мозга.

5. ПОВЕДЕНИЕ КАК КОНТИНУУМ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из предыдущего видно, что мозговые процессы связаны между собой и представляют непрерывную цепь химических процессов, флуктуирующих от момента к моменту в зависимости от действия тех или иных раздражений. Мы установили, что именно след от этих флуктуаций возбудимости, выраженный в разрядной деятельности нейрона, является тем связующим звеном, которое предыдущее в жизни мозга цементирует с последующим. В этом, на наш взгляд, и состоит глубокая нейрофизиологическая природа химического континуума мозга.

Однако такое описание процессов мозга должно вызвать естественный вопрос читателя: как же этот, казалось бы, монотонный процесс химических последовательностей может сконструировать все разнообразие поведенческих актов животного и человека, так тонко и динамически приспосабливающих организм к изменениям внешнего мира? Как может сам поведенческий акт, включающий на разных этапах разнообразные анатомические структуры, осуществить этот химический континуум?

При глубоком и внимательном анализе существа дела мы можем вступить в область исключительно интересных закономерностей, где эволюция структуры нервной системы замечательным образом приспособлена к абсолютному закону пространственно-временного континуума мира, создавшего континуум химических процессов мозга. Этот анализ убеждает нас также в том, что мозг в процессе эволюции выработал специальные структуры и их соотношения, которые специально предназначены для воспроизведения пространственно-временного континуума внешнего мира и для включения в него жизненно важных моментов.

В самом деле, развитие структур мозга, обладающих способностью к генерализованной активации, то есть к распространению активирующих влияний на весь мозг, обеспечило одну из самых важных функций поведенческих актов — их сигнальный характер. В настоящее время в высшей степени важно разобрать конкретный механизм этого действия.

Допустим, что во внешнем мире в короткие интервалы времени развивается действие ряда раздражителей на мозг. Как мы знаем, огромное количество клеток мозга непрерывно соединяет химические последствия этих раздражителей.

Допустим также, что все эти раздражители не имеют никакого существенного значения для организма, то есть они не грозят ему несчастьем, не несут ему радости.

Теперь сделаем другое допущение, что в этом ряду пространственно-временного континуума внешних раздражений один из раздражителей оказался чрезвычайно опасным для жизни или целостности организма, то есть вызвал сильнейшее болевое ощущение. Тем самым конкретный раздражитель возбудил весь комплекс врожденных биологически значимых процессов в области ствола мозга и гипоталамуса. Эти возбуждения восходят до самой коры, и в данном случае они возбудят

положительно все клетки коркового уровня. Во всяком случае, трудно найти такую клетку коры больших полушарий, которая бы не отреагировала учащением или торможением своих разрядов на возбуждение ретикулярной формации и гипоталамуса.

Постараемся представить себе, что же происходит в это время во всех тех следах, которые остались от предшествовавших и последовательно подействовавших на организм раздражителей перед тем, как он получил болевое раздражение? Некоторые из корковых клеток, несомненно, сохранили следы только что подействовавших на них возбуждений, то есть находились в состоянии затухающих разрядов. Совершенно естественно поэтому, что чем ближе было раздражение к моменту сильного болевого возбуждения, тем отчетливей был след от этого возбуждения, совпавший с моментом болевого состояния. Для теории условных рефлексов это было бы "коротко отставленный сигнал".

Благодаря этому совпадению следов от предшествовавших индифферентных раздражений с генерализованным возбуждением от ретикулярной формации и гипоталамуса происходит интересная картина: где бы ни был предшествовавший раздражитель, он неминуемо будет "настигнут" генерализованным болевым возбуждением, и произойдет в такой же степени неминуемая встреча двух химических процессов в протоплазме одной и той же нервной клетки. Это и есть момент химического сцепления всех предшествовавших "химий" с "химией" болевого возбуждения.

К чему поведет такая встреча и, главное, какой химический результат этой встречи? В каждом случае, когда повторяется последовательность тех же самых внешних воздействий, процесс пойдет по нервным связям, химически уже фиксировавшимся до момента формирования реакций на болевое раздражение, хотя вся последующая цепь возбуждений, предшествующих болевому раздражению, не была подкреплена соответствующими им конкретными воздействиями. Иначе говоря, мы имеем подлинное опережение компонентов пространственно-временнóго континуума внешнего мира специфическим химическим мозговым процессом. В поведенческом смысле это и будет сигнальная, или предупредительная, реакция по И.П.Павлову.

Наличие химического континуума в мозгу животных и человека при постепенном приближении к узловому пункту пространственно-временного континуума внешнего мира, имеющему существенное биологическое значение, является неоспоримым и реальным фактом. Нам сейчас важно лишь установить, какое влияние этот континуум имеет на формирование всех поведенческих актов.

Мне хотелось бы отметить во избежание непонимания один важный этап развития, связанный с приобретением живыми существами способности к свободному передвижению. Не изменяя принципиального содержания взаимозависимости химического континуума от пространственно-временного континуума внешнего мира, свободное движение создает тем не менее условия для огромного скачка в развитии приспособительного поведения у животных.

В самом деле, теперь уже само животное, двигаясь самостоятельно в различных направлениях, создает континуум внешних раздражений своих анализаторов, как бы подставляя себя под их действие. Континуум уже непосредственно начинает влиять на построение целевого или целенаправленного поведения, сводящегося к активному поиску таких компонентов внешнего континуума, которые определяют удовлетворение каких-либо потребностей организма. Организм, как открытая система, активно ищет для своих "входов" точно запрограммированных ее обменом веществ недостающих компонентов.

В этом случае мы сталкиваемся с новой закономерностью, которая стала, так сказать, сквозной для всех этапов развития жизни на земле. Продвижение вперед живого существа создало условия для развития поведенческого континуума животных, поскольку в последовательном действии внешних агентов на организм в процессе его активного продвижения мы опять-таки не имеем перерыва в химически обусловленной разрядной деятельности нейронов.

Однако здесь появилось нечто новое. Это — полезный результат деятельности животного, который непременно возникает в процессе его активного отношения к пространственно-временному континууму внешнего мира. Можно на любом поведенческом акте показать, что, будучи вписан в пространственно-временной континуум, о котором мы говорили выше, он

вместе с тем состоит из цепи полезных результатов, переходящих один в другой.

С точки зрения более общей оценки поведения мы видим, что речь здесь идет о все той же закономерности — поведение человека в пространственно-временном континууме предстает перед нами как континуум больших и малых результатов с непременной оценкой каждого из них с помощью обратной афферентации.

Итак, мы определили в приведенной формуле закон конструирования поведения живых существ, по которому оно представляет собой непрерывную цепь результатов с последующей оценкой их достаточности.

Здесь-то и вмешивается роль "биологического экрана", классифицирующего значимость результата и вводящего тот элемент генерализующего подкрепления, который перекрывает все предыдущие этапы раздражений, оставивших след в центральной нервной системе.

Именно биологически значимые или эмоциогенные раздражения, скрепляющие следовые реакции от прежних раздражений, составляют необходимое условие, подготавливающее путь для будущих опережающих реакций под действием какого-то отдаленного звена пространственно-временного континуума.

Итак, непрерывность явлений внешнего мира отражается на "биологическом экране" как "прерывность" жизненно важных событий для животных и человека, отставленных друг от друга во времени, но связанных континуумом малозначащих результатов целого поведенческого акта.

6. ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В настоящей работе я сделал попытку на основе теории отражения показать, что основной, или, по выражению Планка, "абсолютный, закон" неорганического мира — пространственно-временной континуум определил собой все формы поведения живого от примитивных его форм до человека включительно.

Появление жизни на Земле позволило в микромире молекулярных реакций живой материи отразить все макропроцессы, протекающие с огромными интервалами времени. Создались

условия для "забегания в будущее", а следовательно, появилось в высшей степени приспособительное поведение.

"Биологический экран" не отражает пассивно континуум внешнего мира. Внося в него "потребности жизни", обеспечивая сохранение ее, он связал получение любых результатов с этими основными требованиями. Так организовался континуум результатов, в котором "мелкие" результаты, лежащие на пути получения "больших" и "грандиозных результатов", сливаются в единый поведенческий континуум результатов и сопровождают жизнь от ее зарождения до ее уничтожения.

Я хотел бы заранее оговорить, что все высказанные здесь общие положения о структуре взаимоотношения неорганического и органического мира не являются лишь чисто теоретическими построениями, они имеют также существенное практическое значение.

Едва ли надо говорить о том, что такого рода обобщения, значительно меняющие сам исследовательский подход, должны быть доброжелательно обсуждены всеми теми, кому дороги проблемы, поднятые в этой статье: философами, физиками, физиологами, биологами и др.

Такое обсуждение, я надеюсь, поможет нам посмотреть с высоты философских обобщений на работу мозга, объект наших каждодневных исследовательских усилий.

V

ПУБЛИЦИСТИКА

КИБЕРНЕТИКА И МЕДИЦИНА[1]

Последнее десятилетие характеризуется бурным развитием науки и техники, рождением новой области человеческих знаний — кибернетики. Она возникла на основе теснейшего контакта между различными специальностями: биологией, физикой, математикой, электронной техникой, телемеханикой, философией.

ПУТИ СТАНОВЛЕНИЯ

Без преувеличения можно сказать, что в настоящее время кибернетика — одна из самых перспективных наук. К ней приковано внимание различных специалистов. И это вполне закономерно и естественно. Ведь кибернетика смогла установить логическую связь между такими отраслями знаний, которые на протяжении многих десятков лет развивались своими собственными путями. Предметом ее исследований являются саморегулируемые, самоуправляемые системы независимо от того, принадлежат ли эти системы к живой природе или к области техники. Кибернетика изучает то общее, что есть во всех процессах управления, не подменяя при этом наук, которые исследуют конкретные системы управления — физиологию, вычислительную технику и т.д. Главная цель кибернетики — облегчить труд человека, повысить эффективность его деятельности в управлении сложными процессами, где бы они ни протекали.

Термин "кибернетика" происходит от греческого слова "кибернетос", что значит — управляющий кораблем. Искусство вождения судов связано с некоторыми особенностями. Так, если

---

1 Здоровье, 1962, № 4. с. 9—11.

корабль отклоняется от заданного курса, то "кибернетор", то есть рулевой или капитан, поворачивая рукоятку штурвала, возвращает корабль к заданному курсу. Но при этом судно обычно немного отклоняется в противоположную сторону и только после нескольких таких колебаний правильный курс восстанавливается. На этом простом примере отчетливо виден элементарный принцип управления. Заданный курс корабля является той постоянной величиной, ради которой капитан, получая информацию о направлении движения судна, поворачивает штурвал то влево, то вправо. Здесь налицо, как выражаются теперь кибернетики, "замкнутый контур регулирования". Правда, роль "решающего звена" в этом процессе выполняет человека, его нервная система.

Новое направление в науке завоевало право на существование потому, что создало такой замкнутый контур регулирования, из которого устранен человек. В результате появились сложные механические системы с автоматической регуляцией, неизмеримо облегчающие труд огромного числа людей.

Кибернетические машины, созданные человеком, способны, как и живые организмы, "реагировать" на внешние раздражители и в зависимости от этого изменять свою работу. В настоящее время такие механизмы успешно внедряются в промышленность. Например, существуют специальные автоматические системы регулирования доменного процесса, движения самолета, поезда и т.д.

Кибернетика представляет огромный интерес для физиолога, для врача. Она поможет еще глубже понять наиболее сложную и обширную саморегулирующуюся систему, какой является любой живой организм, в том числе и организм человека, раскрыть причины нарушения деятельности внутренних органов и систем, найти эффективные методы лечения и предупреждения различных заболеваний.

Каковы же наиболее характерные принципы, на основе которых кибернетика объединяет медицину и биологию с физикой, математикой и электроникой? Чтобы ответить на этот вопрос, следует рассмотреть то общее, что в одинаковой степени обязательно для систем управления в технике и в живых организмах.

ЖИВОЙ ОРГАНИЗМ — САМОРЕГУЛИРУЮЩАЯСЯ СИСТЕМА

Десятки и сотни лет ученые исследуют строение и функции организма человека. И сейчас еще до конца не раскрыты основные закономерности таких процессов жизнедеятельности, как обмен веществ, наследственность, мышление и др. Но и то, что уже известно, позволяет сделать вывод: наш организм — это очень тонко и совершенно устроенная биохимическая и электронная лаборатория: по сложности в природе другой такой нет. Если рассматривать отдельно какую-то одну функцию организма, то по сути, в каждой мы найдем замкнутый цикл саморегуляции.

Возьмем для примера кровяное давление. С какой удивительной точностью у здорового человека поддерживается определенный уровень давления крови. И осуществляет это целая система нервных аппаратов, которая работает автоматически. Специальные чувствительные приборы отмечают малейшие отклонения кровяного давления от нормального уровня и посылают информацию в главный командный пункт — центральную нервную систему. А уже из головного мозга на периферию к мышцам, заложенным в стенках кровеносных сосудов, поступают другие сигналы. Они заставляют мышцы сокращаться или расслабляться, а сосуды при этом суживаются или расширяются. Таким образом, круг замыкается, и кровяное давление в этой саморегулирующейся системе вновь поддерживается на определенном уровне.

Очень тонко устроены нервные чувствительные аппараты, которые находятся в стенках сосудов и неустанно регистрируют уровень кровяного давления. Например, повышение давления всего лишь на 5—10 миллиметров ртутного столба немедленно приводит их в возбуждение. Это возбуждение передается по нервам в продолговатый мозг и буквально бомбардирует сосудистые центры, вынуждая их подавать к сосудам расслабляющие сигналы. В результате кровяное давление очень быстро снижается.

Мы рассказали об одной из функций организма человека, которая регулируется независимо от нашего сознания на основании сигналов, поступающих в нервную систему только из кровеносных сосудов. Эта система замкнута внутри самого организма.

Однако в нашем теле существуют и другие системы саморегуляции, которые распространяют свое влияние во внешний мир, заставляют человека совершать самые разнообразные действия.

Возьмем для примера всем знакомое ощущение жажды. Оно возникает в результате малейшего отклонения от нормы содержания солей — так называемого осмотического давления.

Известно, что осмотическое давление крови является строго постоянной величиной, равной 7,6 атмосферы. Только такое давление обеспечивает нормальное течение процессов обмена веществ между кровью и клетками тканей всех внутренних органов, а также другие жизненные функции. Вот почему эту постоянную величину, исключительно важную для нормальной жизнедеятельности организма, природа защитила очень мощными аппаратами, не допускающими даже малейшего отклонения.

В последние годы ученые открыли везикулярные нервные клетки в головном мозгу (от латинского слова "везикула" — пузырек). Они приходят в сильное нервное возбуждение при малейшей недостаточности воды в кровяном русле. Возбуждение распространяется по всей центральной нервной системе, и человек начинает остро ощущать жажду. Он проявляет удивительную изобретательность, совершает массу действий, чтобы достать воду. Когда вода попадает в организм, а затем и в кровь, "возмущенные" везикулярные нервные клетки приходят в равновесие. Это также подлинно замкнутый цикл саморегуляции. Концентрация солей в крови определяет поведение человека.

Подобное свойство живого организма очень образно охарактеризовал И.П.Павлов. Организм, — писал он, — "в высшей степени саморегулирующаяся система, сама себя поддерживающая, восстанавливающая, поправляющая и даже совершенствующая".

Именно принципы саморегулирования тесно объединяют интересы медицины, физиологии и кибернетики.

МОЗГ И МАШИНА

В самом деле, в чем состоит главная, центральная задача медицины? Если ее формулировать в весьма общем виде, то она состоит в том, чтобы защитить человека от разнообразных болезнетворных влияний внешней среды, сохранить на опреде-

ленном уровне наиболее важные показатели организма, обеспечивающие его нормальную жизнедеятельность. К таким показателям относятся, например, кровяное давление, содержание сахара и кислорода в крови, осмотическое давление крови и т.д.

Эта задача осуществляется самыми различными профилактическими и лечебными средствами. Сюда прежде всего можно отнести улучшение условий труда и быта, оздоровление внешней среды, профилактические прививки против инфекционных заболеваний. Но если человек уже заболел, то врачи с помощью лекарственных препаратов, диеты, режима, хирургическим путем стараются восстановить его здоровье. И в том и в другом случае медицинское вмешательство преследует одну цель: помочь организму человека восстановить нормальную деятельность саморегулируемых систем, которые обеспечивают ему здоровье.

Если же рассматривать любую применяемую в технике кибернетическую систему, то и в ней с помощью различных приспособлений поддерживается полезный результат, заданный конструктором. Таким образом, общие принципы саморегулирования характерны как для кибернетики, так и для медицины. Вот почему эти науки сейчас развиваются в тесном контакте, взаимно обогащая друг друга.

Кибернетика вооружает физиологию совершенной методикой исследования многообразных функций живого организма, физических и химических процессов, протекающих в нем. Например, изучение деятельности нерва с помощью специальной кибернетической аппаратуры дало значительно более широкие представления о его функциях, чем обычный физиологический эксперимент. Применение математической обработки к электрическим потенциалам головного мозга помогло еще глубже проникнуть в его тайны. Так, на основе кибернетических вычислений была сконструирована специальная система приборов, которая обеспечивает автоматическую подачу наркоза во время операции. Система записывает электрические потенциалы мозга больного и, обработав эту информацию, регулирует количество наркоза.

В физиологических лабораториях всего мира ученые начали использовать теорию информации и теорию кодирования для исследования работы органов чувств. Все эти достижения теоретической медицины, навеянные современной кибернетикой, будут развиваться и шириться.

Чем же может обогатить медицина кибернетику?

Современная техника достигла огромнейших скоростей движения, вращения, освободила энергию, хранившуюся миллионы лет в атоме. И тем не менее организм постоянно обогащает и бесконечно пополняет ресурсы кибернетики именно принципами своей организации, которые до сих пор являются недостижимым идеалом даже для самых сложных кибернетических систем.

Мы часто удивляемся тому, что машина может сделать десятки тысяч вычислительных операций в секунду. Но ведь, сидя в кресле у себя дома и вообразив какое-либо событие международного масштаба, происходящее за много тысяч километров от нас, мы проделываем на тончайших структурах своего мозга и в молекулах его вещества десятки миллионов операций в секунду. Именно так было бы правильно сопоставлять мозг и вычислительные машины. Эти машины, хотя и обладают большей скоростью, несомненно, уступают человеческому мозгу в смысле надежности операций, пластичности и их беспредельной сменяемости.

Не удивительно поэтому, что американский математик Норберт Винер, с именем которого связано зарождение новейшей кибернетики, прежде всего стал изучать функции нервной системы в физиологической лаборатории. Нервная система таит в себе столь огромные возможности принципов организации деятельности, что она еще долгое время будет служить источником для подражания, моделирования и совместного исследования ученых различных отраслей знания.

Достаточно сказать, что один из важнейших элементов саморегуляции — так называемая обратная связь — только в последние годы стал тщательно изучаться физиками и математиками. Но обратная связь, свидетельствующая о результатах действия, существует в живых организмах, начиная с первых зачатков жизни на земле, а физиологи ее открыли задолго до возникновения кибернетики.

НОВОЕ — В ПРАКТИКУ ЗДРАВООХРАНЕНИЯ

Кибернетика уже сейчас может быть использована для совершенствования здравоохранения. Современные счетно-вычислительные машины облегчат работу не только врача, но и

статистика, и организатора здравоохранения. Естественно, это потребует совершенствования знаний всех специалистов, которые будут давать машинам "задания". Но несомненно, что разработанные кибернетикой теория информации, теория кодирования и формы управления сложными процессами открывают замечательные перспективы научной организации медицинской службы.

Сейчас, например, кибернетика настойчиво внедряется в сложный диагностический процесс.

Что такое диагноз? Врач, анализируя какой-то конкретный случай заболевания, должен учесть сотни тонких, часто неуловимых признаков болезни. Он использует современные технические средства — различные приборы и аппараты — для выявления скрытых симптомов. А потом, сопоставляя, исключая и складывая различные симптомы, он воспроизводит образ определенного заболевания. В этом смысле врач уподобляется геологу или географу, которые по небольшим островкам на дне океана стараются представить контуры всего подводного материка.

Может ли кибернетика обеспечить такой сложный процесс? Практика показала, что в какой-то мере распознавание болезней можно "поручить" сложным электронно-магнитным устройствам. Конечно, расчеты эти будут лишь тогда правильны, если правильно составлены задания для машины. Естественно, что никакая машина не в состоянии заменить врача, она только поможет ему в обобщении и анализе многочисленных данных объективного и лабораторного исследования больного.

Несомненно, кибернетика найдет применение и в других областях здравоохранения: например, в области планирования медицинской помощи, прогнозов движения заболеваемости, при разработке различных мероприятий — строительства, оборудования лечебных учреждений, соотношения медицинской помощи с особенностью краевой патологии и т.д. Ведь все эти факторы могут быть математически обработаны, и счетные машины дадут любые сведения с поразительной быстротой.

Трудно кратко изложить самую суть кибернетики, ее общие принципы и практическое применение. Одно можно сказать, что новое направление в науке связало в крепкий узел интересы математика, физика, врача, физиолога, инженера, ботаника, лингвиста и философа.

В Программе КПСС, принятой XXII съездом партии, го-

ворится, что в ближайшее время получат быстрое и широкое внедрение новые типы машин, приборов и аппаратов, связанных с автоматикой и электронной техникой. Развитие кибернетики откроет новые, невиданные горизонты во всех областях человеческих знаний, поможет быстрее претворить в жизнь великие задачи строительства коммунизма.

ТОЧКИ НАД “i”[1]

Дерзкая идея о возможности создания искусственного мозга обсуждается во всем мире уже не один год. Одна за другой появляются в разных странах монографии, посвященные проблеме “организм и машина”, “мозг и машина”, в которых этот замысел на все лады разбирается с физиологических, математических и технических позиций. Может быть, потому, что новые научные идеи зачастую получают свое техническое воплощение с неожиданной быстротой, возникшая дискуссия привлекла столь пристальное внимание людей разных профессий.

Обсуждаемая проблема крайне серьезна, она имеет множество аспектов, требующих систематического и осторожного разрешения. Это и побудило включиться в полемику автора, физиолога мозга, занимающегося, кстати, и вопросами кибернетики применительно к своей сфере исследования.

Размер дистанции

Меня ничуть не пугают высказывания теоретиков кибернетики. Я знаю, что им известна вся сложность проблемы. Волнует другое: мне не раз приходилось встречать молодых инженеров и физиков, которые глубоко уверены, что исследование мозга в обычных физиологических лабораториях бесполезно, а вся физиология мозга в целом, включая и павловское учение, является..."субъективной наукой". И когда некоторые из них говорят:"Зачем нам изучать мозг, его работу, его функцию, если мы можем конструировать его, пользуясь, например, средствами электронной техники, руководствуясь только физико-математи-

---

1 В кн.: Возможное и невозможное в кибернетике. Сб. статей. — М.: 1963, с. 95—103.

ческими правилами...", — ясно, что имеется дефект в самой постановке вопроса и, что особенно важно, в оправданности всех этапов его разрешения.

Едва ли у кого-нибудь среди исследователей-материалистов, стоящих на строгих позициях причинности, могут возникнуть сомнения в принципиальной возможности осуществления моделирования мозга. Однако для реального мышления очень важна та дистанция, которая отделяет принципиальную возможность какого-либо явления от действительного его воссоздания. Разве Архимед не показал "принципиальную" возможность перевернуть земной шар, если бы имелась для этого точка опоры? И разве я, например, принципиально не могу из песка возвести Монблан??

Недавно в Англии вышли две монографии. Одна из них —"Конструкция мозга" — принадлежит перу хорошо известного советским людям теоретика кибернетического моделирования Эшби. Автор другой монографии — "Мозг как вычислительная машина" — известный теоретик Джордж. Оба ученых — сторонники принципиальной возможности создать любые формы и типы нервной деятельности, они посвятили этому значительную часть своей жизни. Но к какому выводу приходит, например, Эшби, оценивая возможности создания самоадаптирующихся машин? Тонкими расчетами и взаимной оценкой возможностей биологических систем и машинных систем он устанавливает, что любой процесс адаптации, т.е. приспособления живого организма, может быть моделирован. Однако, по его мнению, для воспроизведения даже простого адаптивного элемента живой системы машине понадобилось бы "всего-навсего" несколько миллиардов лет.

Именно поэтому его коллега Джордж в своей книге призывает каждый раз при сопоставлении трезво оценивать возможности осуществить то или иное моделирование биологической системы.

Мне кажется, что у нас совершенно определенно созрела необходимость "поставить точки над "i", т.е. точнейшим образом и на научном основании определить, что именно в живом и функционирующем мозге должно являться предметом пристального внимания при наших попытках моделирования и какую степень осторожности мы должны проявлять в наших суждениях.

Что такое мозг?

Это материальный орган с вполне познаваемой функцией: каждый год приносит все новые и новые открытия, часто по-новому ориентирующие нас в понимании его деятельности.

Принято обычно подчеркивать, что мозг содержит около 14 миллиардов клеток. Этот факт используется как основной аргумент для доказательства невозможности моделирования мозга в электронных схемах теми, кто хотел бы каждую мозговую клетку эквивалентно представить радиолампой...

Сложности связаны не только и не столько с количественным воспроизведением элементов. Современная наука отчетливо показала, что сама нервная клетка и ее оболочка представляют собой целый мир разнообразных в химическом и физиологическом отношении образований.

Тончайшими методами исследования с помощью электронных аппаратов было установлено, что сотни, а иногда и тысячи контактов, которые имеет каждая нервная клетка, — это только начало удивительного процесса на молекулярном уровне, позволяющего осуществить на теле размером в 20 тысячных долей миллиметра бесконечное количество синтетических процессов — "личную долю" участия клетки в деятельности целого мозга.

Таким образом, нервную клетку вряд ли стоило рассматривать как элементарную деталь — это, условно говоря, уже "узел" "машины-мозга" со сложным комплексом функций, отражающих различные виды деятельности организма.

Наконец, при сопоставлениях мозга и машины важно еще вспомнить, что клетка, ее процессы и механизмы интересны только исследователю. Организму же всегда интересны только "деятельности" и те "эффекты", к которым каждая эта деятельность приводит.

Тотчас же становится ясным масштаб нашей ошибки в прогнозах и в чрезмерных обещаниях осуществить моделирование мозга в ближайшее время.

Простой пример. Я протягиваю руку и открываю дверь. Эта деятельность закончилась полезным эффектом — дверь открыта, можно пройти. Спускаясь по лестнице, на каждой ступени я получаю информацию о том, что мои действия принесли полезный эффект, и в конце концов о том, что я спустился вниз. Такими "деятельностями" и информациями об их результатах

заполнена вся наша жизнь. Эти "деятельности" могут быть малыми, большими, наконец великими, но основной чертой каждой из них является синтез тех тончайших процессов, которые происходят в данный момент на различных клетках мозга. Если проделать весьма скромный расчет количества связей между отдельными клетками и количества различных молекулярных процессов, обеспечивающих процессы замыкания и памяти, то без всякого преувеличения можно сказать, что потенциально наш мозг способен на десятки миллиардов их. И при этом будет качественно очерчен каждый процесс и каждый результат.

Излюбленным является пример с шахматной машиной, которая обыгрывает даже опытного шахматиста. Однако здесь моделирование имеет дело с вполне определенными реальными программами, которые подлежат довольно четкой математической обработке и варианты которых могут быть экстренно рассчитаны самой шахматной машиной.

"Умнее" ли человека такая машина, судить нельзя хотя бы потому, что есть много довольно умных людей, которые никогда не играли в шахматы.

Сопоставлять человека и машину по какому-либо одному избранному свойству человеческой деятельности невозможно. Это хотелось бы пояснить так.

...Огорченный проигрышем шахматист-человек пошел в буфет и заказал себе кофе с коньяком. Вот если бы шахматная машина также сошла со стола, пошла бы в тот же буфет и заказала себе кофе с молоком, то тогда мы получили бы некоторую основу для сопоставления человека и машины.

Но сейчас она не сделает этого, сейчас она может лишь играть в шахматы. На современном уровне достоинство машины — в тонкости производства отдельной операции. Но достоинство человека как высшего организма, его характерное свойство — в исключительном богатстве качественно различных деятельностей при безграничных затруднениях и изменениях внешних условий.

Генетическая программа

Проблема не исчерпывается трудностями только "статистического" характера. Нужно поразмыслить над более существенными, так сказать "специфически человеческим", над тем, что

Павлов назвал когда-то "основными влечениями" человека. Именно этот пункт стал объектом особенно острой полемики.

Итак, если человека можно рассматривать как кибернетическую систему (машину) с генетически заложенной программой, то возможно ли запрограммировать в модели (пусть в том же генетическом аппарате) и человеческие влечения? Да, можно.

Но чтобы серьезно хотя бы обсуждать такой вопрос, как программирование человеческих влечений, следует прежде всего произвести их классификацию. Ведь понятие "влечения" включает и самые примитивные — жажду, голод, и столь сложные, как томление по возлюбленной. Наконец, есть столь высокие, говоря языком Павлова, "влечения", как стремление сделать человечество счастливым. Очевидно, они не равнозначны сами по себе. Более того, между генетической программой и воплощением в жизни человеческих влечений существует огромная разница, обусловленная индивидуальным развитием человека, следами действия великого множества факторов, в том числе и социальной его жизни.

Обратимся снова к простому примеру и попробуем выяснить "степень легкости" воспроизведения.

Примитивнейшее из влечений — жажда генетически программирована с удивительной, почти математической точностью. В процессе эволюции создан удивительный механизм, который сам по себе мог бы стать предметом фантастических сочинений. Всего каких-нибудь десятка два нервных клеток, заложенных на основании мозга, имеют наследственно определенную высокую чувствительность именно к осмотическому давлению крови. В течение всей жизни осмотическое давление крови всегда поддерживается у человека на одном и том же уровне: 7,6 атмосферы. Это — обязательное условие сохранения организма как живой системы. Стоит человеку потерять несколько большее количество воды, например в жаркую погоду, и таким образом сместить осмотическое давление крови, как эти клетки, выполняющие сторожевую функцию, начинают поднимать тревогу. Они рассылают возбуждение во все части головного мозга. Они немедленно объединяют в единую систему все то, что когда-либо в жизни человека было связано с потерей воды. Иначе говоря, весь мозг в целом формирует известное каждому из нас ощущение жажды.

Но как только "влечение" созрело, на первый план начинает выступать весь жизненный опыт человека. Открываются все кладовые его памяти, и жажда как психическое состояние извлекает из этих кладовых все, что когда-то способствовало ее удовлетворению. Так, у полярника при ощущении жажды появляется решение растопить глыбу льда.

...Возможно ли сконструировать машину, которая, допустим известное упрощение — почуяв, что в отдельных шестернях израсходовалось масло, пошла бы по магазинам разыскивать и покупать это масло? Принципиально возможно, ибо в этом нет ни одной детали, какую нельзя было бы произвести. Но в ней необходимо запрограммировать тогда сложную совокупность различных, качественно отличающихся деятельностей, способность пластически их варьировать применительно к обстановке... Эта задача будет безусловно чрезвычайно трудна для конструкторов машины. А ведь мы взяли для примера жажду, элементарное влечение, физико-химические параметры которого могут быть легко рассчитаны и изучены. Как же быть с теми высокими стремлениями человеческого духа, которые делают человека неспокойным в течение всей его жизни, превращают его в своеобразный аккумулятор энергии, которая направлена всегда по определенному и подчас заведомо нелегкому пути!..

Рождение цели

Когда я говорил об огромном, доходящем до миллиардов, количестве отдельных деятельностей, на которые способен человек, у читателя неизбежно должен был бы возникнуть вопрос: "откуда появляется стимул для всех этих многообразных деятельностей? И может ли у машины возникнуть цель к действию и сколько таких целей может продуцировать машина?".

Прямые лабораторные исследования показывают, что каждой даже очень незначительной деятельности человеческого организма предшествует в высшей степени быстрый и своеобразный процесс, который заканчивается формированием цели к действию. Этот процесс был назван "афферентным синтезом", т.е. моментальным синтезом всех имеющихся в данный момент и в данную ситуацию раздражений, воспринимаемых органами чувств человека. Сущность системы человеческого мозга состоит именно в том, что синтез окружающей обстановки и падающих

на человека раздражений и формирование целей поведения происходят в организме положительно ежесекундно и каждый раз могут оканчиваться различными изменениями в поведении.

Когда человек переходит улицу, он непрерывно сопоставляет свое движение и движение машин на улице, их число, скорость и т.д. Он то ускоряет, то замедляет движение, ибо изменения условий диктуют ему цели новых и новых действий. Все это — процессы афферентного синтеза. Они заканчиваются решением вопроса "что делать?".

Чтобы сопоставить это свойство человеческого мозга со свойствами машины, мы должны были бы искать такую машину, которая бы сама решала вопрос, что ей делать в зависимости от изменения окружающих ее условий. Пока мы не располагаем машинами, которые решали бы сами, что им делать, за исключением, конечно, вариаций, предусмотренных в ее конструкции. Однако это совсем другая вещь. Это не то, что мы называем целенаправленным поведением человека.

Кибернетика обогатила науки новыми аспектами исследований. Уже на первых этапах своего развития она показала, что у таких, казалось бы совершенно различных, явлений, как общество, организм, машины, есть нечто общее — архитектура, по которой развертываются процессы, — принцип саморегуляции с обратной связью.

Общее?.. Но общее не значит тождественное.

Однако такую постановку вопроса отнюдь не надо понимать как своего рода "табу" для воспроизведения и моделирования самых сложных процессов живой и неживой природы.

Итак, возможно ли создание машины "умнее человека", если, например, для создания такой модели будут применены все последние достижения биохимии и нейрохимии? Да, принципиально это возможно, ибо все детали и микрохимические свойства этой машины вполне познаваемы и воспроизводимы. Однако, исключая из обсуждения истинные трудности и реальную основу — сложную деятельность самого мозга, мы тем самым приучаем многих думать, что проблема может быть разрешена чрезвычайно просто, мимоходом, "помахивая тросточкой".

Я полагаю, что может быть два типа энтузиазма в атаке какой-то неприступной крепости. Один энтузиазм исходит из того, что крепость сделана из дощечек, а другой энтузиазм

основан на том, что крепость — из стальных конструкций, но имеются пути к ее овладению. Мне кажется, что второй тип энтузиазма более свойствен нашей эпохе, в которой всякая победа мысли и освоения неизведанного основана на точном расчете и знании истинного размера предстоящих трудностей.

О дисциплине спора

Аристотель, по-видимому, на собственном горьком опыте заметил, в какой мере неопределенность предмета дискуссии мешает поискам истины. Не это ли вынудило его создать знаменитые "Аналитики" — труд о том, как нужно доказывать. Он указывал в них, в частности, что для успеха полемики нельзя подменять истинный предмет спора — мнимым. Прав В.В.Ермилов, заметивший, что одно из условий успеха дискуссии — точность, ясность мысли и терминологии. Некоторые недоумения, возникшие у ученых гуманитарного профиля, происходят, по-моему, оттого, что они, в частности, отождествляют кибернетику, науку об управлении процессами в различных динамических системах, с техническими средствами этой науки, с электронно-счетными машинами, которые очень удобны для моделирования разного рода процессов. Именно поэтому им представляется неприемлемым, что математик С.Л.Соболев говорил о человеческом организме как в известном смысле об одной из кибернетических машин (систем), где биологическая программа развития заложена в генетическом аппарате. Но С.Л.Соболев говорил о сходных принципах функционирования организма и машины с точки зрения кибернетика. Он не давал полного и всеобъемлющего определения понятий "человек" и "машина" с точки зрения биологической или философской... Это, мне кажется, не входило в его задачи. Сходство же этих функциональных систем установлено научной практикой.

Точно так же все, что сказано выше, составляет предмет раздумья физиолога мозга, который стоит на позициях широкого использования кибернетики для изучения мозга. Естественно, что применяемая мной терминология — это терминология чисто физиологическая, ею нельзя определять, например, категории, специфичные для эстетики, литературоведения и т.д. Так, например, термин "генетическая программа" ни в какой мере не следует распространять на явления социальной жизни, ибо он охватывает

лишь биологическую программу индивидуального развития человека, представителя определенного вида животных.

Мне думается, что каждый из участников спора должен стараться понять своего оппонента, точно установить, какая сфера им затрагивается, и не переносить произвольно понятий, о которых кибернетик, физиолог или психолог говорит в аспекте своей науки, на близкие им по звучанию, но иные по смыслу — из другой сферы знания.

ЗА ТВОРЧЕСКОЕ СОДРУЖЕСТВО ИНЖЕНЕРОВ И БИОЛОГОВ[1]

Выход в свет первого тома энциклопедии "Автоматизация производства и промышленная электроника" оказался для меня и моих коллег — медиков и нейрофизиологов — очень важным и интересным событием. Этот интерес объясняется тем, что в настоящее время кибернетика, электроника все теснее соприкасаются с медициной и творческий союз этих наук дает уже прекрасные результаты.

Вот уже несколько лет, как возникло и успешно развивается самостоятельное научное направление, названное "медицинской электроникой". Все новинки электроники, все идеи, возникающие в этой области, кровно нас интересуют. Но и инженеры, в свою очередь, проявляют большое внимание к работе физиологов и особенно нейрофизиологов.

Этот взаимный интерес вполне понятен. Физиология весьма многим обязана технике, так как получает от нее все более совершенную аппаратуру, позволяющую расширять круг наших исследований, еще более углублять их. Но физиологи готовы с лихвой оплатить свой долг инженерам, предоставляя им информацию о функционировании живого организма с целью моделирования его в технических устройствах. Их исследования — это совершенно неисчерпаемая область новых идей, новых принципов и решений, которые с успехом могут быть использованы в технике.

Возьмем, например, надежность — проблему, которая так волнует теперь инженеров. Мозг человека решает эту проблему исключительно точно и с чудесной простотой. Приходится поражаться, как слаженно и точно, не мешая друг другу, протекают тонкие, взаимосвязанные процессы на уровне одного нейрона в

---

[1] В кн.: Автоматизация сегодня и завтра. — М., 1963, с. 26—32/Новое в жизни, науке, технике, 4 сер. Техника: II/.

этом сложнейшем органе, охватывающем миллиарды нервных клеток.

Две соседние клетки и даже две молекулы надежно "заперты" друг от друга, хотя расстояние между ними составляет только 0,01 микрона. Такая исключительная дифференцировка зависит от специфики каталитических процессов, что и составляет основу надежности мозга.

Выполнение любой функции мозга поражает своей надежностью. Например, состояние и удовлетворение жажды определяется тем, что какой-то десяток клеток в мозгу — гипоталамус — по своему метаболизму настроен так, что поддерживает постоянным на протяжении всей нашей жизни осмотическое давление крови. Мы начинаем испытывать жажду всегда при одном и том же определенном осмотическом давлении. Таким образом, клетки головного мозга протоплазматически тоже построены надежно. В каждой из них происходит свой обмен, и друг другу они не мешают, разделив свои "зоны влияния" специфическими ферментами.

Но одной надежностью дело не ограничивается. Пожалуй, не будет большим преувеличением сказать, что главные проблемы, занимающие сейчас инженеров в области автоматики, великолепно решены уже в живой природе. В качестве примера можно указать на вопросы оптимизации и самоорганизации. Известно, что живой организм продолжает полностью функционировать и после удаления некоторых жизненно важных органов. Как он это "делает"? Поиски ответа на этот вопрос представляют большой научный и практический интерес для инженеров.

Теория функциональной системы, которая была разработана еще 30 лет назад, служит предпосылкой к построению новой отрасли науки — физиологической кибернетики. Для понимания теории функциональной системы очень важным является принципиальное положение кибернетики о том, что явления различного класса развиваются по единой динамической архитектуре, дающей полезный эффект.

Когда мы говорим о динамической архитектуре, то имеем в виду способы функционирования, средства достижения цели конечного эффекта. Эта архитектура в системе организма постоянна как с точки зрения своей конечной цели, так и с точки зрения тех рецепторных аппаратов, которые оценивают степень

достижения этой цели. Но ведь именно этим требованиям удовлетворяет любая система автоматического регулирования в технике. Такие системы могут быть и в общественной жизни, мы постоянно наблюдаем их и в живой природе. Таким образом, можно говорить об аналогичной архитектуре самых различных систем. Общность их состоит в основном принципе: отклонение от конечного полезного эффекта служит стимулом возвращения системы к этому эффекту. Для архитектурного плана таких систем характерно наличие обратных связей. В этом кибернетика видит важнейшую предпосылку построения единой универсальной теории управления.

Для всех кибернетических исследований характерен также информационный подход. Поэтому теория информации получила в последнее время быстрое развитие.

В физиологии, как и в технике, информация служит средством управления. Например, регуляторные аппараты центральной нервной системы дают команду рабочим органам. С чем мы здесь имеем дело? С определенным видом информации. Импульсы, идущие от периферии к центральной нервной системе, также представляют собой информацию, которая сигнализирует о степени достижения полезного эффекта. Эти и другие формы информации в организме сейчас широко изучаются с привлечением солидного математического аппарата. Тем не менее вся эта информация является лишь одним из компонентов в функционировании мозга человека — большой кибернетической системы, работающей на основе саморегуляции.

Задачи, стоящие перед физиологической кибернетикой, сложны и разнообразны. Сюда относятся изучение механизма передачи и преобразования информации в организме, кодирование и декодирование внешней энергии при изучении, например органов чувств, исследование каналов передачи информации и др. Изучение всех этих проблем с применением логики и математических расчетов необычайно расширяет наши возможности в познании нервной системы, делает ясней понимание целей и значение информации в общей деятельности организма. Другими словами, все это нам нужно для разработки точной "теории саморегуляции", как говорим мы, или "теории автоматического регулирования", как говорят инженеры.

Разработка теории саморегуляции как всеобщего закона де-

ятельности организма должна стать главной задачей физиологической кибернетики. Между тем именно этому общему закону не уделяется должного внимания. Конечно, решение частных задач в области информации, алгоритмирование отдельных физиологических процессов и тому подобная работа сравнительно легка и, быть может, более эффективна. Изучение же интегративных процессов целостного организма, специфических свойств самой интеграции требует большого количества специальных экспериментов, нового подхода и разработки специальной методологии исследований. Но все это должно быть сделано, если мы хотим достичь принципиально новых результатов в изучении кибернетических закономерностей.

Мы рассматриваем функциональную систему как аппарат саморегуляции. Физиологические закономерности систем с саморегуляцией сформулированы нами еще в 1935 г. Характерно, что эти формулировки точно соответствуют принципам кибернетики, сложившимся много позже. Это лишний раз говорит о том, что кибернетика строится на основе реально существующих объективных факторов, следовательно, такое совпадение обязательно должно было иметь место.

Принципы функциональной системы как замкнутого физиологического образования с обратной связью были сформулированы в результате изучения компенсации нарушенных функций организма. Для нас ясно, что функциональная система по своей архитектуре аналогична любой автоматической системе с обратной связью. Поэтому изучение свойств и структур различных функциональных систем организма является общей проблемой кибернетики и представляет первостепенный интерес для всех занимающихся этой наукой.

В этом смысле живой организм аналогичен автоматическому устройству, но он имеет неоспоримые преимущества в отношении надежности, экономичности и поразительной гибкости при экстренном выборе разнообразных средств для получения одного и того же полезного эффекта.

Мы рассматриваем функциональную систему как сочетание процессов и механизмов, динамически формирующееся в зависимости от многосторонней оценки данной ситуации и приводящее к конечному полезному для организма эффекту. Таким образом, состав функциональной системы определяется не ана-

томически (механизмы анатомически могут быть достаточно отдалены друг от друга), а динамически и обусловливается лишь качеством полезного эффекта. Только этот конечный полезный эффект определяет компоновку системы и все ее функционирование, так же как и прекращение этого функционирования при достижении полезного эффекта. Изучение механизмов этой работы мозга и составляет предмет нашей работы.

Функциональная система охватывает не только головной мозг, она представляет собой центрально-периферическое образование — нервные импульсы циркулируют непрерывно от центра к периферии и обратно.

Некоторые черты архитектуры функциональной системы имеют общее значение как для физиологов, так и для инженеров, поскольку они дают материал для сравнения биологических саморегулирующихся систем с автоматическими устройствами. В связи с этим прежде всего надо сказать о жизненном узле всякой функциональной системы, который неразрывно связывает конечный полезный эффект с аппаратом оценки степени достижения этого эффекта. Достигается это при помощи рецепторов.

Конечный полезный эффект служит задачам выживания организма. Он особенно необходим, когда речь идет о дыхании, уровне кровяного давления, осмотическом давлении крови и других жизненно важных функциях организма. Таким образом, функциональная система, осуществляя процесс саморегуляции, поддерживает жизненно важные константы организма.

Характерным примером функциональной системы является дыхательная система. На этом примере можно уяснить значение жизненного узла. Конечным полезным эффектом системы является поддержание в организме примерно постоянного соотношения парциального давления кислорода и углекислоты. При отклонении от нормального соотношения вступают в действие механизмы, выравнивающие его. Включает эти механизмы специальный рецепторный аппарат. Система хеморецепторов воспринимает отклонения газового состава крови и посылает импульсы в центральную нервную систему. Отсюда по каналам компенсации нарушений дыхательных функций подаются команды, регулирующие дыхательный объем, глубину вдоха, частоту дыхания, состояние периферических сосудов и т.д. Вот это сочетание хеморецепторов, реагирующих на соотношение кисло-

рода с углекислотой, с окислительными процессами в тканях и представляет собой жизненный узел рассматриваемой функциональной системы.

Нетрудно установить аналогию этой системы с автоматическим устройством. В последнем роль хеморецепторов будут выполнять датчики, реагирующие на отклонения от заданного параметра импульсами, подаваемыми к регуляторам. Конечный полезный эффект функциональной системы организма аналогичен программе, задаваемой автоматическому устройству. Таким образом, при изучении функциональных систем организма сразу же возникают аналогии с замкнутыми автоматическими системами. Естественно, что конструкторы автоматических устройств ищут решение своих задач в живом организме. Поэтому совместная работа физиологов и инженеров совершенно необходима. Сравнительная оценка и совместное изучение средств, при помощи которых достигаются желаемые результаты в организмах и в машинах, сулит многообещающие результаты.

Для сопоставления технических устройств с функциональными системами организма, важна и другая черта этих систем — афферентный синтез.

Раньше мы говорили о действии рецепторов как функции одного переменного — соотношения кислорода и углекислоты. Но в действительности эти зависимости выглядят значительно сложнее. Обратимся к тому же примеру функциональной системы дыхания. Хеморецепторы на самом деле интегрируют целую гамму импульсов, выражающих в данный момент потребность организма в кислороде не только в зависимости от соотношения его концентрации и концентрации углекислоты, но и от текущей дыхательной ритмики, и от предстоящих усилий организма для преодоления препятствий, и т.д. В результате этого интегрирования моторный нейрон возбуждается вполне определенным количеством нервных импульсов и дает разряд, состоящий из такого количества импульсов, которое требуется по ситуации. В этом и состоит афферентный синтез.

Прежде чем решить вопрос "что делать" в данной ситуации, организм непременно должен произвести синтез всей информации, как внешней, так и внутренней, характеризующей данную ситуацию. Афферентный синтез необходим для всех случаев выхода нервных возбуждений на периферию.

Исследования в этом вопросе дают нам материал для ответа на ставший традиционным вопрос: чем отличается живой организм от автоматического устройства? Одно из важнейших отличий как раз и состоит в том, что организм ежеминутно решает вопрос "что делать". Для машины этого вопроса не существует, он уже решен за нее человеком. Таким образом, если речь идет о существующих машинах, то такое сопоставление принципиально не правомерно, так как оно выполняется на разных уровнях. Машине приходится решать лишь вопрос "как делать".

Другое дело, когда мы говорим не о существующих, а о будущих кибернетических машинах, которым придется принимать самостоятельные решения в зависимости от внешней ситуации.

Сопоставление таких машин с живым организмом окажется, несомненно, весьма плодотворным. Созданию этих машин в значительной мере может помочь изучение афферентного синтеза, выполняемого организмом.

Но дело, разумеется, не только в афферентном синтезе. Надо отдать себе ясный отчет в том, что если мы хотим моделировать какие-либо функции живого организма, то необходимо учесть все принципы организации его функциональных систем в комплексе. Без этого нельзя не только моделировать, но и даже понять общую архитектуру функций организма. Разработка теории функциональных систем в этом смысле должна открывать глаза на многое.

Физиология стоит сейчас накануне больших открытий, больших достижений. Несомненно, что эти достижения могут явиться только в результате совместной работы физиологов, инженеров, математиков, физиков. Направления этих работ должны вытекать из общих принципов кибернетики.

Для того чтобы такая работа была плодотворной, необходимо наличие общего языка, общих установок, единой терминологии. Неоценимую помощь в этом смысле должна оказать всем нам энциклопедия, последующих томов которой с большим нетерпением ждут читатели — представители самых различных профессий.

ОГЛАВЛЕНИЕ

IV. Информационный эквивалент функциональных систем

V. Публицистика

Документальное научное издание

ПЕТР КУЗЬМИЧ АНОХИН

Избранные труды:

Кибернетика функциональных систем

Художественный редактор *С.М. Лымина*
Художник *В.И. Романенко*
Технический редактор *Г.Н. Жильцова*
Корректор *С.Р. Даничева*

ЛР № 010215 от 29.04.97.
Сдано в набор 09.07.98. Подписано к печати 17.08.98. Формат бумаги 60×90/16. Бумага офсетная № 1. Гарнитура Академическая. Печать офсетная. Усл.печ.л. 25,0. Усл.кр.-отт. 25,0 Уч.-изд.л. 21,44. Тираж 1000 экз. Заказ № 2449.

Ордена Трудового Красного Знамени издательство "Медицина". 101000, Москва, Петроверигский пер., 6/8.

Оригинал-макет изготовлен в АО "ИНПОЛ". 125130, Москва, Старопетровский пр., 11.

Отпечатано с оригинал-макета в Смоленской областной ордена "Знак Почета" типографии им. Смирнова. 214000, г. Смоленск, пр-т им. Ю.Гагарина, 2.

ISBN 5-225-04399-2

9 785225 043995