

Министерство образования и науки Российской Федерации
Федеральное государственное бюджетное образовательное
учреждение высшего профессионального образования
ОМСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
им. Ф. М. ДОСТОЕВСКОГО

А. К. Гуц

КИБЕРНЕТИКА

Учебное пособие



2014

УДК 007 : 004.8
ББК 32.81
Г977

*Рекомендовано к изданию
редакционно-издательским советом ОмГУ*

Рецензенты:

д-р техн. наук, проф. В. А. Филимонов;
канд. физ.-мат. наук, доц. Н. Ф. Богаченко

Гуц, А. К.

Г977 Кибернетика : учебное пособие / А. К. Гуц. – Омск :
Изд-во Ом. гос. ун-та, 2014. – 188 с.

ISBN 978-5-7779-1768-3

Учебное пособие посвящено изложению основ науки кибернетики. Дается представление о науке кибернетике в целом и о ее различных направлениях: социобибернетике, математической кибернетике, технической кибернетике, экономической кибернетике, биологической кибернетике, медицинской кибернетике и др. Отдельно освещаются вопросы искусственного интеллекта.

Для студентов и аспирантов факультетов компьютерных наук, информационных технологий и математических факультетов.

**УДК 007 : 004.8
ББК 32.81**

ISBN 978-5-7779-1768-3

© А. К. Гуц, 2014

© ФГБОУ ВПО «ОмГУ

им. Ф. М. Достоевского», 2014

Оглавление

ВВЕДЕНИЕ	8
1 Кибернетика	11
1.1. Системы	12
1.2. Информация	12
1.3. Кибернетические системы	14
1.4. Обратная связь	14
1.5. Циклические процессы	15
1.5.1. Самоприменение, рекурсивность	16
1.5.2. Самоорганизующиеся системы	17
1.6. Кибернетика	18
1.7. Кибернетика 2-го порядка	22
1.8. Кибернетика и информатика	23
1.9. Кибернетика в СССР	27
1.10. А.И. Берг	31
1.11. А.И. Китов	32
2 Социокибернетика	34
2.1. Принципы социокибернетики и черты социокибернетических исследований	35
2.1.1. Принципы социокибернетики	35
2.1.2. Основные черты социокибернетических исследований	36
2.2. Мультиагентное моделирование	37
2.2.1. Искусственное общество	37
2.2.2. Метод мультиагентного моделирования	39

2.2.3.	Правила искусственной жизни	40
2.2.4.	Искусственная жизнь агента в среде	41
2.2.5.	Задание окружающей среды	42
2.3.	Искусственная жизнь на сахарных холмах	42
2.4.	Модель устойчивой семьи (запах денег)	45
2.4.1.	Поведение агентов-мужчин	45
2.4.2.	Поведение агентов-женщин	45
2.4.3.	Компьютерные эксперименты	46
2.5.	Общение людей, по Бёрну	49
2.5.1.	Правила «межличностного» взаимодействия агентов	50
2.5.2.	Описание внешней среды – поля взаимодействия и принципы перемещения агентов по полю	51
2.5.3.	Описание зоны видимости	52
2.5.4.	Определение количества взаимодействий агентов	56
2.5.5.	Конфигурации агентов в поле	56
2.6.	Бронислав Трентовский	59
3	Математическая кибернетика	61
3.1.	Теория управляющих систем	61
3.2.	Теория информации	63
3.2.1.	Определение информации	64
3.2.2.	Классический канал связи с шумом. Теоремы Шеннона	65
3.3.	Исследование операций	67
3.4.	Теория игр	68
3.4.1.	Игры и их классификация	69
3.4.2.	Матричные игры	71
3.4.3.	Чистые и смешанные стратегии	72
3.4.4.	Позиционные игры	73
3.4.5.	Критерии оптимальности стратегий	75
3.5.	Теория принятия решения	76
3.5.1.	Оптимизационная модель принятия решений	77

3.5.2.	Принятие решений в условиях неопределенности	78
3.5.3.	Биполярный выбор	80
3.6.	Математические вопросы семиотики	83
3.7.	Рекурсивность	85
3.8.	А.А. Ляпунов	86
4	Техническая кибернетика	88
4.1.	Построение ЭВМ	89
4.2.	ЭВМ на трехзначной логике	90
4.2.1.	Трехзначные логики Васильева и Лукасевича	90
4.2.2.	ЭВМ «Сетунь»	91
4.3.	Рекурсивные вычислительные машины и машины с динамической архитектурой	91
4.4.	Автоматические системы управления	95
4.5.	Автоматизированные системы управления	96
4.6.	В.М. Глушков	97
4.7.	А.А. Берс	98
5	Биокибернетика	100
5.1.	Регулирование и управление	101
5.2.	Биокибернетические системы	101
5.3.	Определение жизни	102
5.4.	Эволюция как управляющий процесс	103
5.5.	Биоинформатика	104
5.6.	Нейрокибернетика	105
5.7.	И.И. Шмальгаузен	106
6	Медицинская кибернетика	107
6.1.	Медицинские автоматизированные системы управления	108
6.2.	Компьютерное моделирование в стоматологии	109
6.3.	Медицинские диагностические системы	111
6.4.	Медицинские информационные системы диспансерного наблюдения	112

6.4.1.	Система диспансерного наблюдения пациентов, перенесших инфаркт миокарда	112
6.5.	Н.М. Амосов	116
7	Экологическая кибернетика	118
7.1.	Экологические системы	119
7.2.	Информационные потоки и каналы лесного биоценоза	120
7.3.	Понятие информации	121
7.3.1.	Носители информации в растениях	122
7.3.2.	Носители информации в фитоценозах	122
7.3.3.	Специфика кибернетического описания леса	124
7.4.	Игровая модель управления защитой лесов	124
7.4.1.	Стратегии Природы	125
7.4.2.	Стратегии Лесного управления	126
7.4.3.	Пример игры. Белозерское лесничество	127
7.5.	В.Г. Нестеров	128
8	Экономическая кибернетика	129
8.1.	Экономические системы	130
8.2.	Экономическая информация	131
8.3.	Оптимизация управления многоотраслевой экономикой	132
8.4.	Транспортная задача	134
8.5.	Л.В. Канторович	135
9	Квантовая кибернетика	136
9.1.	Архитектура квантового компьютера	137
9.2.	Регистры	137
9.2.1.	Бит и классический регистр	137
9.2.2.	Кубит и квантовый регистр	138
9.3.	Процессор	140
9.3.1.	Классический процессор	141
9.3.2.	Квантовый процессор	142
9.4.	Условия появления квантового компьютера	143
9.5.	Вычисление на квантовом компьютере	144

9.5.1.	Ввод начальных данных	144
9.5.2.	Вычисление	146
9.5.3.	Вывод результата	146
9.6.	Исправление квантовых ошибок	147
9.7.	Классический компьютер вычисляет всё, что вычисляет квантовый	148
9.8.	Квантовый алгоритм факторизации Шора	149
9.9.	Реализация квантового алгоритма Шора на трех кубитах	149
10	Искусственный интеллект	152
10.1.	Тест Тьюринга	153
10.2.	Нейрокибернетика	154
10.2.1.	Модель нейрона. Нейронные сети	155
10.2.2.	Перцептроны	157
10.2.3.	Нейроимитаторы	160
10.3.	Кибернетика «черного ящика»	161
10.4.	Представление знаний	162
10.4.1.	Логические представления	163
10.4.2.	Семантические сети	166
10.4.3.	Фреймы	166
10.4.4.	Системы продукций	168
10.5.	Компьютерная лингвистика	168
10.6.	Робототехника	170
10.6.1.	Человекоподобные роботы	170
10.6.2.	Мобильные роботы	171
10.7.	Распознавание образов. Обработка изображений	172
10.8.	Экспертные системы	173
	Заключение	174
	Литература	179

ВВЕДЕНИЕ

Главное в кибернетике – теория управления.

А.А. Красовский

Кибернетика – это наука, возникшая благодаря появившейся в 1948 году книге «Кибернетика», написанной американским математиком Норбертом Винером. Новая наука должна была описать способы управления живыми организмами и техническими системами. «Основной тезис книги – подобие процессов управления и коммуникации в машинах, живых организмах и обществах, будь то общества животных (муравейник) или человеческие» [92, с. 17]. Особое значение придавалась так называемым обратным связям, а также передаче и обработке информации. Информация должна рассматриваться как одна из фундаментальных характеристик явления природы подобно веществу и энергии.

Параллельно с кибернетикой в понимании Винера развивалась кибернетика в понимании Грегори Бейтсона и Маргарет Мид, которые основным для новой науки видели вскрытие механизмов управления обществом.

Кибернетика появилась в СССР в 1950-е годы и достаточно бурно распространилась по стране в 1960-е годы, когда ей на уровне правительства придавалось большое значение как науке, способной решать проблемы развития плановой социалистической экономики. В университетах открывались кафедры математической и технической кибернетики, а также факультеты кибернетики и экономической кибернетики.

Особый вклад в развитие науки кибернетики в СССР внесли А.И. Берг, А.А. Ляпунов, И.А. Полетаев¹, В.М. Глушков, И.И. Шмальгаузен, Л.В. Канторович, С.Л. Соболев, А.Н. Колмогоров, А.А. Красовский, С.А. Лебедев, А.И. Китов.

Развитие математической кибернетики связывалось с потребностями создания мощных ЭВМ и ускоренного продвижения работ в области их программирования. Помимо этого к математической кибернетике относили теорию автоматов, теорию информации, теорию игр и принятия решений и теорию массового обслуживания.

Техническая кибернетика сконцентрировала свое внимание на конструировании ЭВМ, создании автоматических и автоматизированных систем управления и на робототехнике.

Благодаря таланту писателя художественных произведений, хирург Н.М. Амосов привлек внимание общества к проблемам биологической и медицинской кибернетики.

В 1950-60-е годы очень популярными были дискуссии на тему «Может ли машина мыслить?» [63]. В результате сторонники возможности построения разумной машины, среди которых был выдающийся математик А.Н. Колмогоров, породили в кибернетике отдельное направление по созданию искусственного интеллекта. За границей первой работой в этом направлении была статья Алана Тьюринга [106, 146], появившаяся в 1950 году.

И хотя мало кто из неспециалистов мог в те годы (да и в наши дни) четко сформулировать, чем собственно занимается кибернетика, многие связывали кибернетику с созданием ЭВМ, которые могли бы мыслить подобно человеку.

Естественно, если машина начнет думать, то следует дать ответ на вопрос, можно ли в таком случае считать ее живой? Поэтому кибернетики много занимались вопросом – что следует понимать под жизнью.

На Западе термину «кибернетика» никогда не придавали такого размаха, как в СССР, но зато именно на Западе, начиная с 1990-х годов, широко развивается социоккибернетика,

¹ И.А. Полетаев – автор первой в СССР книги по кибернетике [93].

порожденная Бейтсоном и Мид.

Основным методом научного исследования сложных систем в кибернетике является *моделирование*. При моделировании изучаемая система заменяется на более простой объект другой природы, чем сама система, называемый *кибернетической моделью* и описываемый либо с помощью математики, либо набором компьютерных программ (компьютерное моделирование), либо с помощью графических схем и т. д. Результаты, полученные при исследовании модели, переносятся на саму систему. Кибернетические модели могут быть самыми ранообразными. Например, Л.Т. Кузин в [68] рассматривает пять моделей: массового обслуживания и надежности, теории игр, распознавание образов, потоковые и алгебраические.

Кибернетика существует уже более 70 лет, и она как междисциплинарная наука меняла главные акценты в своих исследованиях. На Западе выделяют три сменяющие друг друга этапа в развитии кибернетики: 1) кибернетика 1-го порядка (техническая кибернетика, циклические процессы); 2) кибернетика 2-го порядка (роль наблюдателя, биокибернетика); 3) социокибернетика (отношения между идеями и обществом, проектирование интеллектуальных (социальных) проявлений).

В СССР в 1980-е годы с целью всеобщей компьютеризации населения в средней школе и в вузах вводился курс «Информатика». Информатика подавалась как наука, занимающаяся накоплением знаний о компьютерных системах, с помощью которых решаются задачи по сбору, хранению, обработке информации, т. е. того, что является ядром науки «Кибернетика».

Термин «информатика»², по существу, подменил термины «кибернетика», или «компьютерная наука», распространенные в остальном мире. В итоге наука кибернетика поменяла свое название на науку информатику. При этом часть направлений исследований кибернетики выделились в отдельные науки, не войдя в информатику.

² Термин «информатика» впервые появился в 1957 году в Германии [74, с. 5].

Глава 1

Кибернетика

Управлять – значит предвидеть.

Екатерина II Великая

Кибернетика – это наука об общих принципах управления. Она связана с развитием компьютерной техники, которая используется в системах управления. Кибернетика возникла в конце 1940-х годов одновременно с созданием вычислительных машин, но она не направлена всецело на развитие вычислительной техники. Информатика, напротив, как направление научной деятельности появилась в 1980-е годы за счет развития персональной компьютерной техники, базируется именно на компьютерной технике и просто немыслима без вычислительных систем.

Кибернетика, даже как название всеобщей науки об управлении, дважды оттеснялась как главное действующее лицо со сцены, на которой перед общественностью демонстрировали свои возможности другие, во многом близкие научные направления. Речь идет об информатике и синергетике. Однако обе эти науки вышли из самой кибернетики, области приложения которой первоначально были сформулированы ее создателями в весьма расплывчатых и неопределенных границах. В на-

чале XXI века кибернетика определилась со своим объектом исследования и сконцентрировала все свое внимание на изучении систем любой природы, но которые предполагают наличие управления ими и которые в силу этого называются кибернетическими системами.

1.1. Системы

Наука изучает системы – физические системы, квантовые системы, биологические системы, экологические системы, лесные системы, водные системы, социальные системы, экономические системы, политические системы и т. д.

Система – это множество взаимосвязанных объектов – элементов системы, называемых также подсистемами.

Подсистемы взаимовлияют друг на друга посредством различных связей. Таким образом, система задана, если перечислены ее элементы, т. е. ее подсистемы и связи между ними. Подсистемы и связи между ними могут обладать свойствами (показателями), каждое из которых может принимать некоторое множество значений.

Состояние системы – это совокупность значений показателей ее подсистем и связей между ними.

1.2. Информация

Для описания взаимодействия подсистем (объектов) в физике используются такие понятия, как материя и энергия. При этом говорят об обмене веществом, т. е. материей, и смене вида энергии: механическая энергия перешла в тепловую, тепловая – в электрическую и т. д.

Но материя и энергия не исчерпывают способы взаимодействия подсистем (объектов), ведущих к изменению их состояния. Существует еще одна категория, которая наравне с материей и энергией также характеризует взаимодействие подси-

стем. Эта категория названа *информацией*¹.

Информация – это информация, а не материя или энергия (Н. Винер).

Информация – это сообщение, осведомляющее кого-то о состоянии той или иной системы или воздействиях одной системы на другую систему, которые можно назвать деятельностью первой системы. Кратко можно охарактеризовать информацию как сведения о чем-нибудь. В определении информации фигурирует некто, кто нуждается в сведениях. Очевидно, что этот некто должен понимать смысл полученной информации или по меньшей мере понимать, что это информация, а не хаотический набор знаков (звуков, образов и т. д.). Иначе говоря, этот некто должен обладать разумом. И неважно, человек это или машина.

Информация – это любое небезразличное различие, т. е. различие, которое делает различие (Бейтсон).

Накопленная информация есть *знание*, посредством которого можно получать новые знания.

Информация – нематериальный объект, применяя который в своих действиях, человек может получать знания, посредством которых его целенаправленные действия становятся более организованными за счет грамотного управления процессом достижения поставленной цели.

Информация – мера организованности системы в противоположность понятию энтропии как меры неорганизованности.

¹ Слово «информация» происходит от латинского «information» – осведомление, сообщение. С середины XX века оно стало общенаучным понятием, включающим обмен сведениями между людьми, человеком и машиной, машиной и машиной [10].

1.3. Кибернетические системы

Кибернетическая система – это система, подсистемы которой способны воспринимать, запоминать и перерабатывать информацию, а также обмениваться информацией. Предполагается, что кибернетическая система допускает управление ею.

Управление – процесс, обеспечивающий поведение системы, характеризующееся определенным результатом.

Управление – это внесение изменений в систему посредством воздействия на ее подсистемы, которые приводят к переходу системы из одного состояния в другое.

Управление основано на получении, переработке и передаче информации. С точки зрения кибернетики связи между подсистемами – это процесс обмена информацией, который регулирует поведение подсистем, т. е. управляет ими.

1.4. Обратная связь

Ведущим понятием кибернетики с легкой руки Винера, который уделил ему много внимания, является *обратная связь*. Если в какой-нибудь кибернетической системе уточняется направление «прямой» передачи сигнала, т. е. от *входа* системы к ее *выходу*, то любая передача сигналов в противоположном направлении (от выхода ко входу) называется обратной связью.

Обратная связь – это информация, которая используется для корректировки выходных данных на основе их текущего состояния. Наличие обратных (и прямых) связей прослеживается в самых различных системах: в биологических, медицинских, технических, экономических и социальных.

Обратная связь – это информация о результатах процесса, которая используется для того, чтобы изменить процесс.

Обратная связь может быть положительной (когда поступающий обратно, с выхода на вход, сигнал увеличивает эффект входного воздействия) или отрицательной (когда этот эффект уменьшается). Положительная обратная связь обычно способствует потере устойчивости в системе, а отрицательная повышает устойчивость и обеспечивает поддержание равновесия.

Отслеживание, учет обратной и прямой связей в изучаемой или создаваемой системе и их использование способствует установлению устойчивого управления системой.

1.5. Циклические процессы

Классическая наука, созданная Ньютоном и Лейбницем², описывает линейные процессы. Их основой является представление о причинно-следственной связи, в которой причина и следствие выстраиваются в такую линейную последовательность, что следствие никак не может повлиять на породившую его причину. Кибернетика же обратила свое главное внимание на *циклические процессы*. В таких процессах следствие посредством обратной связи воздействует на причину, и в силу этого они взаимно влияют друг на друга. Такая схема наиболее адекватна для кибернетических систем, поскольку в них наблюдается тесное взаимодействие причины и следствия, их взаимное влияние. Ее называют в кибернетике *циклической причинностью* (circular causality), или *циклическостью*.

В случае цикличности следствие, влияя на свою причину, становится причиной самого себя. Другими словами, цикличность означает, что явление является причиной самого себя, описание объекта x сводится к ссылке на сам этот объект x и т. д. Таким образом, цикличность означает наличие в определении, описании, изображении какого-либо объекта или процесса самого этого объекта или процесса, т. е. цикличность — это ситуация, когда объект является частью самого себя. Вме-

² При написании параграфа использована статья [136].

сто термина «цикличность» часто используются термины «самоссылка» (self-reference), «самоприменение» или «рекурсия».

Наука всегда с трудом справлялась с цикличностью; цикличность вела к глубоким концептуальным проблемам, таким как логические парадоксы самоотсылки (self-reference)³.

Кибернетика обнаружила, что цикличность, если ее адекватно моделировать, может помочь нам понять такие фундаментальные явления, как самоорганизация, целенаправленность, идентичность и жизнь. От описания этих процессов устранилась ньютоновская наука. В то время как, например, фон-неймановский анализ воспроизводства как циклического процесса **самоконструирования** предвосхитил открытие генетического кода. Более того, циклические процессы распространены в сложных сетевых системах, таких как организмы, экосистемы, экономики и социальные структуры⁴.

1.5.1. Самоприменение, рекурсивность

Как математически может моделироваться цикличность?

Цикличность в дискретном случае присутствует в рекурсивных определениях, в *рекурсивности*, которую записывают в виде

$$x_{n+1} = f(x_n). \quad (1.1)$$

С рекурсией, часто называемой итерацией, связано открытие Мандельбротом *фракталов* – самоподобных объектов дробной размерности. В результате научились описывать *хаос*. Если принять, что $x = \{x_n\}_{n \in \mathbf{Z}}$, то уравнение (1.1) – это уточнение характера действия отображения f , которое обладает свойством $x = f(x)$. Как видим, чтобы понять, что есть x , мы с помощью некоторой процедуры f делаем ссылку на сам этот объект x .

³ Примером такого парадокса служит самоссылающееся высказывание «Это утверждение ложно». Если предположить, что оно ложно, то оно истинно. А если предположить, что оно истинно, то приходится заключить, что оно ложно.

⁴ Циклическая причинность в квантовой механике исследуется в книге «Quantum cybernetics» [135].

Таким образом, в общем случае цикличность следует записать уравнением

$$x = f(x), \quad (1.2)$$

где природа x и f зависит от рассматриваемой математической модели.

Уравнение (1.2) появляется, например, при решении очень распространенной в науке задачи на собственные числа для операторов:

$$\lambda x = f(x).$$

При $\lambda = 1$ имеем уравнение (1.2). А в случае $\lambda = \exp[2\pi im/n]$ получаем $x = f^n(x)$, что, в принципе, является самоссылкой вида (1.2).

1.5.2. Самоорганизующиеся системы

Самоорганизующаяся система – это система, которая становится все более организованной по мере того, как она приближается к равновесию⁵.

Если изучаемая кибернетическая система принимает состояние $s \in S$, где S – абстрактное пространство состояний, то уравнение (1.2) в случае понимания f как динамического преобразования или процесса говорит о том, что $s = x$ – неподвижное неизменное состояние, т. е. *равновесие* исследуемой динамической кибернетической системы. Если система переходит в состояние x , то ее развитие останавливается.

Обобщая ситуацию, примем, что $x \subset S$, т. е. является подмножеством, а вместо уравнения (1.2) полагаем, что x обладает свойством устойчивости вида: если $s \in x$, то $f(s) \in x$ ⁶. Предположим, что x не содержит меньшего подмножества с этим свойством. В таком случае его называем *аттрактором*. Для аттрактора $x = f(x)$.

Аттракторы изучает теория динамических систем. Они могут иметь самую разнообразную форму (топологию), раз-

⁵ Науку о самоорганизации часто называют *синергетикой*.

⁶ Устойчивость влечет: $f(x) \subseteq x$.

мерность (например, быть 0-мерными, 1-мерными) или быть фракталами (их называют *странными аттракторами*).

1.6. Кибернетика

Кибернетика – наука об общих законах управления в системах любой природы – биологической, технической, социальной.

Основной объект исследования в кибернетике – кибернетические системы, рассматриваемые вне зависимости от их материальной природы. Часто также говорят, что объект исследования кибернетики – это процессы управления, основанные на переработке информации (Кузин, [67, с. 3]).

Основная цель кибернетики как науки об управлении сложной (кибернетической) системой состоит в организации ее работы так, что взаимодействие элементов внутри этой системы и взаимодействие системы с внешней средой приводят к тому, что достигаются наилучшие результаты функционирования системы при минимальных затратах тех или иных ресурсов (сырья, энергии, человеческого труда, машинного времени, горючего и т. д.). В таком случае говорят об *оптимизации* работы системы и *оптимальном управлении* ею. Таким образом, основной целью кибернетики является оптимизация управления сложными системами.

Задачей кибернетики является повышение эффективности деятельности человека во всех случаях, когда ему необходимо осуществлять управление (А.И. Берг, 1959, [12]).

«Содержание кибернетики заключается в сборе, переработке и передаче информации с целью улучшения управления для достижения поставленной задачи» [12].

Впервые о кибернетике как о науке управления заговорил физик Ампер:

Кибернетика – наука о текущей политике и практическом управлении государством (обществом) (Ампер, 1834, [6]).

А семью годами позже в Польше вышла книга, в которой говорилось, что

кибернетика – искусство управления народом (Трентовский, 1843, [103]).

Во время Второй мировой войны в США в Масачусетском технологическом институте возник и существовал некоторое время научный семинар, среди организаторов которого были Норберт Винер, Джон фон Нейман, Грегори Бейтсон и Маргарет Мид. Активными участниками семинара были физиолог А. Розенблют и инженер Дж. Бигелоу. Тематикой семинара были исследования, которые сейчас называются кибернетикой и социокибернетикой.

Винер ограничился работами в области управления и коммуникаций в технике и в живой природе, названными им позже кибернетикой. Джон фон Нейман в основном интересовался в это время созданием ЭВМ, а Грегори Бейтсон и Маргарет Мид старались во главу темы семинара поставить вопросы создания науки об управлении обществом, которые сейчас изучаются социокибернетикой.

Тем не менее Винер «заявил, что можно создать одну, всеохватывающую теорию, которая объясняла бы работу не только машин, но и всех биологических явлений, от одноклеточных организмов до национальной экономики. Все эти сущности обрабатывают информацию и действуют в соответствии с информацией; все они используют такие механизмы, как положительные и отрицательные обратные связь и фильтры для отличия сигналов от шума» [115, с. 335].

Заметный вклад в кибернетику внес Росс Эшби, который сформулировал фундаментальный закон необходимого разнообразия и принципы гомеостатического регулирования [127].

Другой яркой фигурой в кибернетике является Стаффорд Бир, называемый основоположником «организационной ки-

бернетики». «В 1957 году он опубликовал описание промышленного предприятия как живого организма и в дальнейшем развил эту модель до пятиуровневой модели любой жизнеспособной системы. Модель жизнеспособной системы (VSM), по Биру, представляет собой множество взаимодействующих «гомеостатов Эшби»⁷. Бир сформулировал «теорему о рекурсивной структуре жизнеспособных систем (VS)» [17, с. 236], в которой утверждается, во-первых, вложенность VS, а во-вторых – принципиальная «одинаковость» их структур. Этот рекурсивный характер и делает VSM универсальной, применимой как для участка производства, так и для государства» [91].

В 1950-е годы кибернетика в основном занималась проблемами управления техническими системами, созданием электронно-вычислительных машин как возможных носителей искусственного интеллекта, а также проблемами медицины.

В 1960-е годы кибернетика во многом была сконцентрирована на решении экономических проблем. В СССР появилась наука, именуемая экономической кибернетикой, создавались кафедры и факультеты, включающие в свое название слова «экономическая кибернетика». В 1966 году ЦК КПСС и советское правительство выпустили постановление, предусматривающее крупномасштабную программу внедрения компьютерных автоматизированных систем управления (АСУ) в экономику.

Однако общегосударственная автоматизированная система (ОГАС) сбора и обработки экономической информации для учета, планирования и управления советской экономикой в СССР, о которой много писал в те годы В.М. Глушков, так и не была создана. Правда, «за десять лет, с 1976 по 1985 год, с превеликим трудом удалось возвести 21 вычислительный центр коллективного пользования, которые обслуживали всего 2000 предприятий. Попытки объединить несколько цен-

⁷ *Гомеостат Эшби* – электромеханическое устройство, придуманное Эшби [128] с целью моделирования свойства живых организмов удерживать свои параметры в пределах, обеспечивающих их существование.

тров в сеть в конце 1970-х годов так и остались на уровне эксперимента» [29].

Кибернетика как наука об управлении основное внимание концентрирует на способах получения, хранения и переработки информации в целях управления. Информация в кибернетике – это то же, что энергия в механике, т. е. это основополагающее понятие, с помощью которого достигается понимание самой сути процессов управления. При этом предполагается, что все действия с информацией должны происходить в автоматическом или автоматизированном режиме на базе электронно-вычислительной техники. Вместе с этим «кибернетика существует как наука независимо от ЭВМ, которые используются в ней так же, как физические приборы в физике» [67, с. 10]. Без ЭВМ не может существовать информатика, которая собственно и является наукой об использовании ЭВМ.

Задачей кибернетики является выработка языка и технических приемов, позволяющих на деле добиться решения проблем управления и коммуникации (связи) вообще, а также нахождения надлежащего набора идей и технических приемов для того, чтобы подвести их специфические проявления под определенные понятия (Винер, 1950, [26, с. 13]).

Особую роль в идеологии кибернетики играют сверхмощные ЭВМ, которые сейчас называют суперЭВМ. Именно такие машины способны осуществить то, о чем говорили кибернетики в 1960-е годы. Суперкомпьютеры, суперкомпьютерные технологии – это принципиальный рывок в производительности труда. Например, экзафлопный уровень, т. е. миллион терафлоп, позволяет полностью моделировать полет авиалайнера, атомные реакторы, автоматизировать управление многими промышленными предприятиями. США планируют выйти на данный уровень к 2018 году. Россия, если не будет иметь такой техники, не сможет остаться среди передовых технологичных государств [62].

1.7. Кибернетика 2-го порядка

Кибернетика 2-го порядка появляется на сцене, начиная с 1974 года. Главный акцент в исследованиях стали делать, во-первых, на роли наблюдателя, во-вторых, стала бурно развиваться биокибернетика и ее составные части – нейрокибернетика и медицинская кибернетика.

Предыдущая кибернетика, кибернетика в понимании Винера, – это кибернетика наблюдаемых систем. Ее следует называть кибернетикой 1-го порядка. Напротив, кибернетика 2-го порядка – это кибернетика наблюдения систем.

«Восприятие может рассматриваться с точки зрения отношений, т. е. самоотнесения (self-reference) или помещения воспринимающего в наблюдение. Рекурсия (самоотнесение) наблюдения является центральным понятием в кибернетике 2-го порядка.

Отношение между наблюдателем – субъектом восприятия и воспринимаемой реальностью можно анализировать на основе образцов (паттернов) отношений, т. к. наблюдатель по определению всегда является частью контекста» (М. Кэррич).

Биокибернетика должна была разъяснить, как каждый человек конструирует «реальность». Опорным здесь было предположение, что «идеи о знании следует искать в нейрофизиологии» (Stuart A. Umpleby).

Кибернетика 2-го порядка полагала необходимым преодоление «специфического заблуждения Западной научной традиции», именуемой принципом «объективности научного исследования», который гласил, что «свойства наблюдателя не должны входить в описание его наблюдений». Иначе говоря, в научном отчете о наблюдении любой системы никоим образом не должно ничего говорить о том, что наблюдал систему человек. Человек, его осознание Внешнего мира в классической западной науке, не присутствует в описании этого Внешнего мира. Напротив, в кибернетике 2-го порядка сам наблюдатель, его восприятие описываемой системы – это обязательные составляющие описания.

Социальную кибернетику, изучающую наблюдателей,

функционирующих в рамках социальных систем, по мнению фон Форстера, следует рассматривать как кибернетику 2-го порядка. Ведь наблюдаемая система может иметь цель, к которой она стремится. Социальная кибернетика включает в систему самого наблюдателя (людей). Необходимо позволить наблюдателю внутри системы иметь свою собственную цель, в осуществлении которой он автономен. Иначе, как отмечал фон Форстер, мы имели бы ситуацию, когда наблюдатель может сказать: «Я не ответственен за свои действия; я только повинуюсь приказам», т. е. шел строем вместе со всеми к цели системы. Другими словами, если мы не будем позволять наблюдателю иметь свою цель, то мы обеспечим оправдания тем, кто хочет возложить ответственность за их собственные действия на кого-нибудь еще. Наблюдатель в позиции наблюдения системы обязан самосоотносить цель системы и собственную цель.

1.8. Кибернетика и информатика

Кибернетика получила официальное признание в СССР в конце 1950-х годов⁸. Ее приверженцы, которых стали называть кибернетиками, заговорили о том, что располагают знанием, позволяющим найти решения как многих грандиозных народнохозяйственных и экономических задач, так и задач, касающихся погружения людей в сферу, которую сейчас называют информационной и связывают с наличием у людей персональных мобильных устройств и Интернетом. Чаще всего их высказывания сводились к фразе о необходимости при решении той или иной задачи использовать кибернетический подход, а на деле для решения конкретных задач не хватало как теоретических разработок в специализированных областях знаний,

⁸ В четвертом издании «Краткого философского словаря», вышедшем в 1954 году уже после смерти И.В. Сталина, в статье «Кибернетика» эта наука определялась как «реакционная лженаука, возникшая в США после второй мировой войны и получившая широкое распространение в других капиталистических странах; форма современного механицизма».

так и необходимой надежной высокопроизводительной вычислительной техники.

Вычислительная техника до середины 1980-х годов была крупногабаритной, энергозатратной, занимающей большие помещения, требующей мощной системы охлаждения и специального персонала. Вывод информации производился на черно-белые экраны с плохим разрешением и полным отсутствием того, что сейчас называют графикой. Это ставило непреодолимую преграду между получаемыми с помощью ЭВМ результатами и использованием их массовым потребителем. А именно массовое использование теоретических достижений кибернетики посредством их реализации с помощью массовых ЭВМ и могло убедить общественность в практической значимости науки кибернетики. Другими словами, кибернетики не могли довести свои открытия до людей из-за того, что у людей не было персональных настольных компьютеров, ноутбуков, планшетов, айфонов, айпадов и сотовых телефонов, а также из-за отсутствия достаточно дешевых высокопроизводительных кластерных и графических суперЭВМ. Отметим, что в наши дни большинство автоматизированных систем управления в организациях и предприятиях состоят из десятков или сотен персональных компьютеров, которые легко обслуживаются и финансово необременительны.

По мере решения тех или иных проблем в разных отраслях знаний происходило уточнение, уточнение и усложнение используемых методов, связь которых с изначально формулируемыми методами и подходами не была сколько-либо прозрачной. В силу этого вместо термина кибернетика употребляли понятия, более приближенные к тому, чем непосредственно занимались исследователи в своей узко профессиональной деятельности. Понятие кибернетики приобретало смысл чего-то заоблачно удаленного, общеидеологического. Разделы, которые входили в кибернетику, приобрели самостоятельное существование как области наук, не очень-то помнившие о своей прародительнице.

Кибернетика родилась слишком рано. Ей надо было обо-

значиться как науке после появления персональных компьютеров. Но она появилась раньше, не оправдала надежд, распалась на множество специальных наук. Возродилась в начале XXI века, но под другим названием, причем скорее под несколькими названиями. Это и «информационные технологии», и «информатика», и «компьютерная наука».

Кибернетика исчезла как единая область исследований, объединяющая в действительности под термином «кибернетика» самые разнообразные, имеющие «разношерстное» происхождение и подчас далекие друг от друга научные дисциплины, сколько бы не говорили об общих для них всех принципах управляемости и информационности изучаемых систем.

Но нельзя согласиться с тем, что кибернетика ушла со сцены по причине иллюзорности ее идеалов, которые следует искать скорее в ранней социокибернетике, а отнюдь не во всей науке кибернетике. А именно такое объяснение ухода кибернетики в тень дает американский журналист Джон Хорган, занимающийся проблемами науки, который пишет: «К шестидесятым годам кибернетика потеряла свой блеск. Выдающийся инженер-электрик Джон Р. Пирс в 1961 году отметил, что «в этом столетии мир кибернетики был использован наиболее обширно в прессе, в популярных и околослитературных, если не полуграмотных журналах». Кибернетика все еще имеет последователей на изолированных территориях, например в России (которая в советскую эпоху была очень восприимчива к фантазиям об обществе как о машине, которая может быть точно настроена, если следовать указаниям кибернетики» [115, с. 335]. В этих словах мы угадываем скорее извечное стремление Запада видеть в России изолированную от мира «территорию», заселенную людьми, падкими на блестящие бусинки и читающими полуграмотные журналы, чем желание понять, почему «исчезла» отдельно обозначенная наука кибернетика. Что же касается фантазий об обществе и о возможности управления им подобно машине, то как раз на Западе в наши дни тратятся большие усилия и средства на социокибернетические исследования.

Так что, кибернетика плавно перешла в информатику и дискретную математику, как думают некоторые специалисты? Скорее, исчезло слово «кибернетика»⁹, но не исчезла наука.

Новосибирский математик Я.И. Фет говорит: «Трудно объяснить, почему в языке некоторые слова реже употребляются или уходят из употребления, а потом возникают новые слова. Но это язык, в живом языке постоянно происходит изменение акцентов... Если мы будем рассматривать те времена, когда в Академгородке работали Алексей Андреевич Ляпунов, Андрей Петрович Ершов, целый ряд других ученых, в то время их называли кибернетиками. И в исторических исследованиях мы будем их так называть. А сейчас, в эпоху информационного бума, когда информационные технологии становятся верхом современного искусства и науки, сейчас слово «кибернетика» будет звучать в каком-то смысле как анахронизм. И мы говорим «информатика». А в другом контексте само слово «кибернетика» звучит гордо» (цит. по [123])¹⁰.

О том, какое значение имеет по существу употребление терминов «кибернетика» и «информатика», хорошо сказал в 1987 году А.П. Ершов: «То, что мы сейчас больше говорим об информатике, нежели о кибернетике, имеет не большее значение, чем говорить о «самолете», нежели об «аэроплане», а если уж относиться к словам серьезно, то это тождество мысли подчеркивает роль кибернетики как материнской науки для информатики» (цит. по [110, с. 5]).

В наши дни слово «информатика» встречается повсеместно, а слово «кибернетика» – крайне редко, и смысл его для многих непонятен.

Термин «информатика» появился на Западе раньше, чем в СССР. На Первой межправительственной конференции по

⁹ Слово «кибернетика» в 1990-е годы изымали из названий институтов, кафедр, учебников. Например, созданный в 1983 году В.А. Мельниковым (1928–1993) – одним из лучших советских конструкторов ЭВМ – Институт проблем кибернетики АН СССР был в 1994 году переименован в Институт системного программирования РАН.

¹⁰ Куда «исчезла» кибернетика? URL: <http://www.sibai.ru/kuda-ischezla-kibernetika.html>

стратегии и развитию информатики (28 августа – 6 сентября 1978 г., Испания), организованной ЮНЕСКО, было утверждено следующее содержание понятия «информатика»:

Информатика охватывает области, связанные с разработкой, использованием и материально-техническим обслуживанием систем обработки информации, включая машины и оборудование, математическое обеспечение, организационные и людские аспекты, а также комплекс их промышленного, коммерческого, административного, социального и политического воздействия [100, с. 36].

1.9. Кибернетика в СССР

Становление кибернетики в СССР, как правило, подается как процесс, крайне противоречивый и полный драматизма. Приведем статью из «Краткого философского словаря», появившуюся в издании 1954 года, т. е. после смерти И.В. Сталина:

КИБЕРНЕТИКА – реакционная лженаука, возникшая в США после Второй мировой войны и получившая широкое распространение и в других капиталистических странах; форма современного механицизма. Приверженцы кибернетики определяют ее как универсальную науку о связях и коммуникациях в технике, в живых существах и общественной жизни, о «всеобщей организации» и управлении всеми процессами в природе и обществе. Тем самым кибернетика отождествляет механические, биологические и социальные взаимосвязи и закономерности. Как всякая механистическая теория, кибернетика отрицает качественное своеобразие закономерностей различных форм существования и развития материи, сводя их к механическим закономерностям. Кибернетика возникла на основе современного развития электроники, в особенности новей-

ших скоростных счетных машин, автоматики и телемеханики. В отличие от старого механицизма XVII–XVIII вв. кибернетика рассматривает психофизиологические и социальные явления по аналогии не с простейшими механизмами, а с электронными машинами и приборами, отождествляя работу головного мозга с работой счетной машины, а общественную жизнь – с системой электро- и радиокommunikаций. По существу своему кибернетика направлена против материалистической диалектики, современной научной физиологии, обоснованной И.П. Павловым, и марксистского, научного понимания законов общественной жизни. Эта механистическая метафизическая лженаука отлично уживается с идеализмом в философии, психологии, социологии.

Кибернетика ярко выражает одну из основных черт буржуазного мировоззрения – его бесчеловечность, стремление превратить трудящихся в придаток машины, в орудие производства и орудие войны. Вместе с тем для кибернетики характерна империалистическая утопия – заменить живого, мыслящего, борющегося за свои интересы человека машиной как в производстве, так и на войне. Поджигатели новой мировой войны используют кибернетику в своих грязных практических делах. Под прикрытием пропаганды кибернетики в странах империализма происходит привлечение ученых самых различных специальностей для разработки новых приемов массового истребления – электронного, телемеханического, автоматического оружия, конструирование и производство которого превратилось в крупную отрасль военной промышленности капиталистических стран. Кибернетика является, таким образом, не только идеологическим оружием империалистической реакции, но и средством осуществления ее агрессивных планов.

Но и при жизни И.В. Сталина кибернетика представлялась советскому народу в негативном свете:

Буржуазная печать широко разрекламировала новую науку – кибернетику. Эта модная лжетеория, выдвигает

нутая группой американских «учёных», претендует на решение всех стержневых научных проблем и на спасение человечества от всех социальных бедствий. Кибернетическое поветрие пошло по разнообразным отраслям знания: физиологии, психологии, социологии, психиатрии, лингвистике и др. По утверждению кибернетиков, поводом к созданию их лженауки послужило сходство между мозгом человека и современными сложными машинами (Ярошевский М. Кибернетика – «наука» мракобесов // «Литературная газета». 1952. 5 апреля. № 42 (2915). С. 4).

Первой статьёй, направленной против кибернетики, была статья Б. Агапова «Марк III, калькулятор», опубликованная в «Литературной газете» 4 мая 1950 года. Автор, например, возражал против привлечения ЭВМ к обработке экономической информации. «Статья Б. Агапова стала началом идеологической кампании против кибернетики. (При этом слово кибернетика в статье не было использовано ни разу).»¹¹

Скорее всего, идеологов правящей элиты обеспокоили заявления западных кибернетиков о том, что кибернетика способна дать новые, основанные на использовании ЭВМ и думающих роботов, методы управления обществом, экономикой и государством, одинаково пригодные и для капитализма, и для социализма. Отсюда происходит их неприятие кибернетики.

Были и другие *антикибернетические* статьи [22, 31, 32, 104], которые публиковались так, чтобы охватить интеллигентного гуманитарного читателя, технически настроенную молодежь и читающего философскую литературу.

Но начиная с 1955 года, благодаря статье С.Л. Соболева, А.И. Китова и А.А. Ляпунова «Основные черты кибернетики» [99], отношение к кибернетике меняется.

В 1958 году в СССР выходит перевод книги Н. Винера «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине». В этом же году появляется первая советская книга о кибернетике «Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики», написан-

¹¹ По материалам сайта: URL: <http://www.kitov-anatoly.ru>.

ная И.А. Полетаевым. В первых строках Предисловия автор пишет:

«Кибернетика есть наука о процессах управления и передачи сигналов в машинах и живых организмах, использующая математические методы» [93].



И.А. Полетаев

Такое определение кибернетики успокоило идеологов – хранителей привилегий государственных бюрократов на управление государством и экономикой¹². Но настороженность государства по отношению к кибернетике осталась. Об этом говорит судьба А.И. Китова, которого за излишнюю настойчивость по внедрению кибернетических методов управления исключили из Коммунистической партии и сняли с должности начальника созданного им Вычислительного центра Министерства обороны.

стерства обороны.

Следует отметить, что трудный путь к признанию кибернетики в СССР не отражался на развитии вычислительной техники. После письма академика М.А. Лаврентьева Сталину 29 июня 1948 года Председатель Совета Министров СССР И.В. Сталин подписал постановление, в соответствии с которым создавался Институт точной механики и вычислительной техники. После этого вычислительная техника в СССР стала стремительно развиваться.

В январе 1959 года в Академии наук СССР создается Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика», который возглавил академик А.И. Берг.

¹² Тем не менее в конце книги, рассуждая о будущем, И.А. Полетаев предполагает, что кибернетические машины будут осуществлять управление промышленными предприятиями, планировать производства в разных масштабах, применять исправительные меры в отношении преступников, вести следствие по уголовным делам [93, с. 384].

1.10. А.И. Берг

Аксель Иванович Берг (1893–1979) родился в Оренбурге в семье генерала русской армии Ивана Александровича Берга. Герой Социалистического Труда (1963), моряк, адмирал-инженер, академик АН СССР (1946), специалист в области радиотехники и радиолокации, заместитель Министра обороны СССР (1953–1957).

В 1959 году в возрасте 66 лет возглавил созданный в Академии наук СССР Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика».

А.И. Берг – автор книг «Кибернетика и надежность» (1963 и 1964), «Кибернетика – наука об оптимальном управлении» (1964), «Информация и управление» (совместно с Ю.И. Черняком, 1966).

В жизни А.И. Берга было несколько периодов: морской боевой офицер, радиотехника и радиолокация и, наконец, кибернетика.

А.И. Берг служил на линкоре «Цесаревич». В 1916 году «за самоотвержение, мужество и усиленные труды в обстановке военного времени» был награжден орденом Св. Станислава 3-й степени с мечами и бантом. Позже воевал на подводных лодках, в том числе на знаменитой «Пантере».

С 1925 по 1959 годы А.И. Берг занимается радиотехникой и радиолокацией.

Кибернетический период – это последние 20 лет жизни А.И. Берга.

«Хотя русские расточают похвалы Норберту Винеру, у них есть свой родоначальник кибернетики, 70-летний Аксель Иванович Берг, адмирал и академик, которому в большой мере принадлежит за-



А.И. Берг

слуга в развитии советской радиолокации во время второй мировой войны» (Washington Post. 1964. June 21).

А.И. Берг награжден четырьмя орденами Ленина¹³, орденом Октябрьской революции, двумя орденами Красного Знамени, тремя орденами Красной Звезды, орденом Отечественной войны первой степени и многочисленными медалями.

«В настоящее время еще не существует общепринятого, точного определения термина «кибернетика», введенного Ампером в 1843 году. Про кибернетику можно сказать, что ее методами человечество пользовалось всегда, но только не применяя этого термина, если можно так выразиться – бессознательно, подобно тому, как оно пользуется весьма давно речью для обмена информацией, причем в большинстве случаев люди говорят прозой, а некоторые этого и не знают» (А.И. Берг, 1959, [12]).

1.11. А.И. Китов



А.И. Китов

Анатолий Иванович Китов (1920 – 2005) родился 9 августа 1920 года в Самаре. Инженер-полковник. Доктор технических наук, профессор, академик РАЕН (1992)¹⁴.

В 1939 году А.И. Китов поступил на физико-математический факультет Ташкентского государственного университета, но проучился всего три месяца, так как был призван рядовым в Красную армию. Закончил в 1941 году Ленинградское артиллерийское училище и Артиллерийскую инженерную академию им. Ф.Э. Дзержинского (1945–1950). Воевал в зенитной артиллерии.

¹³ Орден Ленина – высшая награда в СССР.

¹⁴ Источник: URL: <http://viperson.ru/wind.php?ID=8390>.

В 1954 году Анатолий Иванович руководит созданием на базе возглавляемого им в военной академии отдела ЭВМ головного Вычислительного центра Министерства обороны СССР.

В 1954 году написал статью «Основные черты кибернетики», к которой А.А. Ляпунов дописал несколько страниц и к которой в качестве соавтора присоединился академик С.Л. Соболев. Публикация этой статьи [99] открыла эру кибернетики в СССР.

Под руководством А.И. Китова была создана ЭВМ М-100, явившаяся на тот период самой быстродействующей ЭВМ в стране (1959).

Благодаря письму А.И. Китова главе советского государства Н.С. Хрущеву, была создана Межведомственная комиссия, подготовившая Постановление ЦК КПСС и Совета министров СССР «Об ускорении и расширении производства вычислительных машин и их внедрении в народное хозяйство» (1959). Осенью 1959 года А.И. Китов предложил создать единую автоматизированную систему управления для вооруженных сил и для народного хозяйства страны на базе общей сети вычислительных центров, создаваемых и обслуживаемых Министерством обороны СССР. Настойчивость в реализации этой идеи и критика Министерства обороны, касающаяся неудовлетворительного, как казалось А.И. Китову, внедрения ЭВМ, привела к тому, что его исключили из Коммунистической партии и сняли с должности.

Автор книг «Электронные цифровые машины» (1956), «Элементы программирования» (1956, в соавторстве), «Электронные цифровые машины и программирование» (1959, в соавторстве), «Программирование экономических и управленческих задач» (1971), «Введение в медицинскую кибернетику» (1977), «Медицинская кибернетика» (1983) и др.

Последнее место работы (1980–1997): заведующий, а затем и профессор кафедры «Вычислительная техника и программирование» Российской экономической академии им. Г.В. Плеханова.

Глава 2

Социокибернетика

Люди не математические символы и не логические категории, и процесс управления – это не шахматная партия. Недостаточное знание целей и стремлений людей может опрокинуть любое логическое построение.

Б. Трентовский (1843)

Социальная кибернетика, или социокибернетика, изучает социальные системы методами кибернетики.

В настоящее время под социокибернетикой часто понимается раздел социологии, опирающийся на достижения теории систем, кибернетики, компьютерных наук, теории коммуникаций и психологии, основной целью которого является создание теоретических концептов и инструментария в рамках информационных технологий для того, чтобы находить ответы и решать проблемы, стоящие перед обществом и касающиеся взаимоотношений между парами людей, в семье, в группах людей, в компаниях и организациях, в стране и, наконец, в международных отношениях.

Творцы социокибернетики отдавали себе отчет в том, что при решении поставленных задач придется проводить анализ

гигантского объема данных и взаимосвязей между ними. Поэтому с самого начала они заговорили об обязательном использовании ЭВМ и, следовательно, о неизбежной кооперации со специалистами в области программирования ЭВМ и специалистами, прослеживающими тенденции в сфере развития вычислительной техники и компьютерных наук.

2.1. Принципы социокibernетики и черты социокibernетических исследований

В наше время социокibernетические исследования находятся в центре внимания многих социологов, математиков, психологов и программистов на Западе. Социокibernетика придерживается двух основных принципов при изучении общества и имеет ряд характерных черт.

2.1.1. Принципы социокibernетики

Социокibernетика изучает общество, опираясь на следующие принципы¹:

- системное мышление,
- кibernетический подход.

Заметим, что *кibernетический подход* к изучению объектов различной природы означает, что различные объекты живой и неживой природы рассматриваются как преобразователи информации или как системы, состоящие из элементарных преобразователей информации (БСЭ, статья «Кibernетика»).

Следовательно, общество в социокibernетике рассматривается не только как система, состоящая из взаимодействующих подсистем, но и с учетом потоков информации, передающихся по каналам взаимодействия подсистем, перерабатывающейся в этих подсистемах и поступающей из внешней среды.

¹ См.: Center for Sociocybernetics Studies Bonn. URL: <http://www.sociocybernetics.eu>.

2.1.2. Основные черты социкибернетических исследований

Социкибернетики часто обращают внимание на следующие моменты, которые они отражают в своей итоговой работе:

- **Системность.** Общество (группа людей) рассматривается как система, состоящая из подсистем. Описывается взаимодействие подсистем, и это характеризует всю систему. Системный подход означает попытку проследить разнообразие взаимодействия в реальности, оставляя в стороне прослеживание причинно-следственных связей.
- **Процессуальность.** Кибернетика изучает не вещи, а способы их поведения. Она не спрашивает «Что есть вещь?» (Эшби, 1956), а задается вопросом «Что она делает?». В центре внимания должны быть не природа, свойства и материал объектов, а формы их действия (работы).
- **Информационность.** Процессы в обществе и процессы, описывающие отношения между системой и окружающей средой, понимаются как «информационные процессы». Непредвиденные ситуации неизбежны, и выбор на основе имеющейся информации приходится осуществлять чаще, чем ожидать проявления жесткого действия причинности. Информация – функция организации системы. Категорию «информация» часто представляют как «третий фактор» наравне с материей и сознанием (например, Вайцзеккер, 1974).
- **Взаимовлияние.** В центре внимания должны быть не причинные связи, а взаимовлияние саморегулируемых систем.
- **Рекурсивность**². Понятия применимы сами к себе; состояния в процессах порождают (воспроизводят) сами себя (von Foerster, 1993).

² «Самовоспроизводимость» (self-referentiality), по Луману [76].

- **Регулирование.** Целенаправленное влияние социальных явлений всегда сводится к попыткам вмешаться в очень сложно устроенные системы с самоорганизующейся (диссипативной, в смысле Пригожина) структурой. Системы отвечают на попытки их отрегулировать, выбирая из окружающей среды только то, что соответствует их внутренней структуре.

2.2. Мультиагентное моделирование

Моделирование – орудие прогноза и управления. С позиций моделирования общество представляет собой сложную систему, для углубленного познания которой нужны модели, отражающие происходящие в нем явления не только качественно, но и количественно [63, с. 167, 177]. Мультиагентное моделирование является наиболее ярким направлением научного исследования общества, в котором отражаются основные принципы и черты социкибернетики [36].

2.2.1. Искусственное общество

Общество состоит из индивидов, прошедших *социализацию*, т. е. процесс освоения всех функций, необходимых индивиду, для того чтобы стать полноценным членом общества. Индивид, прошедший социализацию, становится *личностью*.

Действия реальной личности далеки от жесткой запрограммированности. В одной ситуации ее действия подобны рефлексам глотания и моргания, в других – она балансирует между требованиями общества и собственными желаниями, в третьих, ее действия противоречивы, случайны и, с точки зрения социолога, непредсказуемы.

При формализации приходится ограничивать разнообразие вариантов действия личности, отбрасывая некоторые из них и упрощая другие. Следовательно, нам приходится расстаться с реальной ситуацией, заменяя ее на упрощенную, искусственную.



Рис. 2.1. Переход к искусственной жизни

От реального общества в процессе моделирования переходит к *искусственному обществу*.

Искусственное общество проживает в искусственной окружающей среде. *Искусственная окружающая среда* – это упрощенное представление реальной окружающей среды.

Индивид социальный превращается в *агента* искусственного общества. Искусственное общество состоит из множества агентов, наделенных определенными характеристиками и взаимодействующих друг с другом, т. е. ведущих искусственную жизнь.

2.2.2. Метод мультиагентного моделирования

Основными элементами модели, построенной методом мультиагентного моделирования, являются:

- **агенты** – «люди» искусственного общества. Каждый агент имеет *внутреннее состояние и правила поведения*. Некоторые состояния фиксированы в жизни агента до тех пор, пока они не изменятся в ходе взаимодействия с другими агентами или с внешней окружающей средой;
- **окружающая среда** – некоторое пространство, в котором живут агенты. Среда обладает определенными состояниями и факторами, воздействующими на агентов. Агент связывает свое поведение со своим положением в пространстве и имеет возможность ориентироваться и передвигаться в окружающей среде;
- **правила поведения (взаимодействия) агентов** – законы искусственной жизни для агентов в окружающей среде.

Исследователи искусственной жизни применяют компьютерные методы моделирования для изучения социального феномена человека, включающего законы взаимодействия с окружающей средой, которая может иметь не только биологическую, но и социальную природу. Их цель состоит в том, чтобы с помощью компьютерного моделирования искусственного общества изучить разнообразие сферы человеческой деятельности.

В соответствии с этим ставятся следующие задачи моделирования:

- посредством анализа взаимодействия агентов с окружающей средой изучить изменение внутренних характеристик агента и изменение состояний среды;

- исследовать различные типы адаптивного поведения агента в окружающей среде.

Как правило, при построении социальных моделей искусственного общества идут на известные упрощения. Принимаются во внимание и моделируются лишь статистически выделенные типы адаптивного поведения в тех или иных условиях среды.

2.2.3. Правила искусственной жизни

Имея определенные потребности и стимулы в жизни, агенты, как и индивиды реального общества, стремятся к их удовлетворению. Поэтому необходимо задать, основываясь на социологических теориях, различные возможные типы поведения, так называемые *правила поведения агентов*.

Обычно в модели задаются следующие *правила взаимодействия*:

- агент – окружающая среда;
- агент – агент;
- окружающая среда – окружающая среда.

Окружающая среда создает определенные условия, законы жизни, а также ограничивает возможные способы действия агентов в той или иной ситуации, вследствие чего определяются правила взаимодействия агентов с окружающей средой.

В результате процесса удовлетворения потребностей агентов, различного рода их взаимодействий друг с другом и со средой изменяются характеристики не только агентов, но и среды, в которой они живут. Следовательно, в модели должны определяться *правила изменения состояний окружающей среды*.

В случае когда под действием каких-то внешних факторов происходит изменение окружающей среды, т. е. устоявшихся условий жизни, предусматриваются правила соответствующего поведения агентов. Например, если в одном месте заканчивается запас продовольствия (ресурс питания), то тогда каж-

дый из агентов, чтобы не погибнуть от голода, естественно, устремляется на поиски пропитания.

Жизненное правило для агентов в модели – стремиться к стабильности (устойчивости) своего существования и адаптироваться в ситуации кризиса (экономического, экологического, демографического и т. п.) в окружающей среде.

2.2.4. Искусственная жизнь агента в среде

Агенты являются центральным моментом моделирования. Под моделированием, как правило, понимается компьютерное моделирование. При моделировании создается искусственное общество и окружающая среда. Чтобы компьютерные агенты были наиболее похожими на реальных индивидов, которых пытаются воссоздать при моделировании, необходимо установить *правила поведения агента*. Это важнейший момент моделирования, который проводится поэтапно.

Этапы определения *поведения агента*:

- изучение социологической теории о структуре и возможных действиях объектов моделирования;
- выявление характеристик внутренних компонентов структуры индивида реального общества, которые имеют главное значение для решения поставленных задач моделирования.

Таким образом, каждый агент в искусственном обществе обладает определенными индивидуальными характеристиками, называемыми *свойствами агента*.

Поскольку отнюдь не все индивиды реального общества равны согласно природному порядку вещей, то и агенты искусственного общества появляются на свет с разными врожденными способностями. Некоторые агенты могут обладать каким-нибудь специфическим свойством, характерным лишь для данного агента. Другие агенты при «рождении» получают дар высокой адаптивной способности к изменяющимся условиям среды.

2.2.5. Задание окружающей среды

Жизнь агента в искусственном обществе происходит в окружающей среде. Это может быть, например, ландшафт, топография возобновляемого ресурса, который агенты поглощают или производят. Однако окружающая среда, посредством которой агенты взаимодействуют, может иметь более абстрактную структуру.

Окружающая среда есть средство дифференциации агентов, в силу которого они действуют. В то же самое время агенты могут взаимодействовать с этой средой. Окружающая среда характеризуется не только своим состоянием, но и различными факторами воздействия на агента.

Как правило, окружающую среду при компьютерном моделировании представляют как некоторую область на плоскости (пространстве), разбитую на клетки. Каждая клетка может заниматься только одним агентом. Прописываются условия попадания и пребывания агента в клетке. Эти условия могут изменяться с течением времени.

2.3. Искусственная жизнь на сахарных холмах

В книге «Рост искусственных обществ» (1996) [133] изложены результаты компьютерного моделирования поведения групп индивидов (агентов), подчиненных некоторым правилам жизни на фоне искусственного «сахарного» ландшафта. Под этим понимается ограниченная плоская дискретная область, в узлах которой находится тот или иной запас «сахара», необходимый агентам для прокорма, т. е. для поддержания жизни (рис. 2.2).

Агенты способны перемещаться из узла в узел по вертикалям и горизонталям, поддерживая свою жизнь. Если нужный сахар долго не находится, то наступает смерть.



Рис. 2.2. Переход к искусственной жизни на сахарных холмах

На рис. 2.3 приведены результаты одного из самых простейших экспериментов, когда агенты действовали в силу инстинкта поддержания жизни, проводя все время в добычании сахара. Как видим, через некоторое время агенты покинули места, где сахара мало, и сконцентрировались на двух сахарных холмах.

Моделирование велось при различном начальном распределении как агентов, так и запасов сахара в узлах рассматриваемой дискретной области. Менялись правила поведения агентов и правила восстановления ландшафта (сахарных холмов). Соответственно шли изменения и в искусственном обществе.

Например, на рис. 2.4 задано правило сезонной мигра-

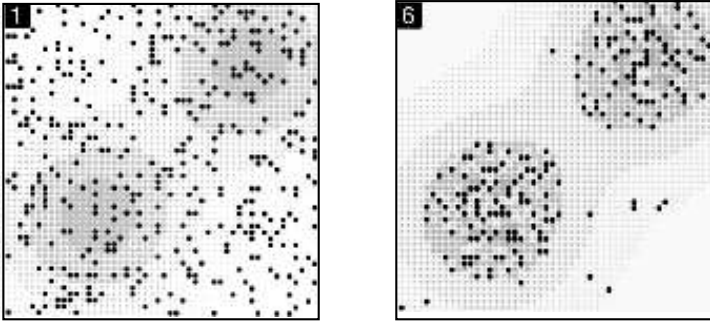


Рис. 2.3. Перемещение агентов в поисках сахара. Начальное (слева) и конечное (справа) распределение агентов (черные точки), действующих на основе инстинкта поиска пищи в «сахарном» ландшафте (серые точки)

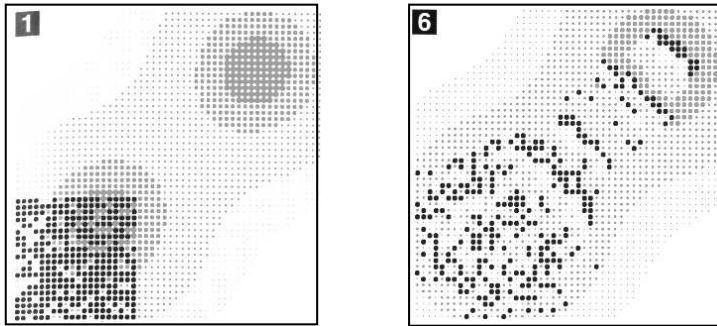


Рис. 2.4. Миграция агентов к сахарным горам. Начальное (слева) и конечное (справа) распределение агентов (черные точки), действующих по правилу сезонной миграции

ции агентов в искусственном обществе. Первоначально: зима в верхнем правом углу квадрата, а лето – в нижней левой части квадрата. Летом много сахара, все агенты живут и питаются в летней зоне. Через некоторый период времени происходит смена сезонов: лето наступает вверху, зима – внизу. Зимой сахар

пропадает, и агенты вынуждены мигрировать в более теплые края, где «растет» больше сахара.

2.4. Модель устойчивой семьи (запах денег)

В качестве примера моделирования гендерных отношений рассмотрим модель влияния ресурсообеспеченности мужчин на поведение женщин и образование семьи [37].

2.4.1. Поведение агентов-мужчин

Каждый агент-мужчина является источником ресурса, меняющегося во времени. Случайным образом задаются положение агентов-мужчин, их первоначальный запас ресурса и коэффициент естественного расхода наличного ресурса. С учетом величины капитала агентов-мужчин происходит распределение ресурса в окружающем их пространстве, подобно теплу, исходящему от живого мужчины.

2.4.2. Поведение агентов-женщин

Начальное положение агентов-женщин в среде задается также случайным образом. С течением времени координаты агентов-мужчин не изменяются, а агенты-женщины двигаются по определенному правилу.

Главным фактором поведения агентов-женщин является поле ресурса, образованное за счет капитала (дохода) агентов-мужчин.

Агенты-женщины передвигаются, ориентируясь по вектору, указывающему на «запасы» ресурса, и направляясь к агенту-мужчине с целью потребления ресурса, имеющегося у этого агента-мужчины.

В результате моделирования мы имеем дело с вполне определенной картиной, демонстрирующей последствия локального взаимодействия агентов. Агент-женщина не покидает

агента-мужчину, если запас его ресурса постоянно подпитывает «голод» агента-женщины. Считаем, что образовалась семья, если агент-мужчина и агент-женщина находятся в соседних клетках и с течением времени их позиции в среде не изменяются.

Так как первоначальное распределение ресурса среди агентов-мужчин различно, то агенты-женщины должны стремиться к самым богатым, ориентируясь на мощное поле ресурса вокруг агентов-мужчин, т. е. на «запах денег».

Если клетка, в которой располагается агент-женщина, лучше в отношении ресурсообеспечения по сравнению с соседними, то агент-женщина не изменяет своего положения.

С течением времени величина капитала изменяется под влиянием поведения агентов. Если в клетке находится агент-мужчина, то в ней происходит естественный рост и расход ресурса (мы можем влиять на соотношение роста и спада капитала). Агент-женщина поглощает определенное количество ресурса в клетке, где она находится. Одновременно происходит дальнейшее распределение («расплывание») ресурса. Вследствие регулярного изменения поля ресурса, окружающего агентов-мужчин, агенты-женщины находятся в постоянном движении.

Если агент-женщина в ходе компьютерного эксперимента остается в клетке рядом с агентом-мужчиной, то эту пару рассматриваем как устойчивый брак (семья).

2.4.3. Компьютерные эксперименты

Построенная модель реализована на языке Objective-C в мультиагентной системе моделирования *SWARM*.

Возможности встроенного графического интерфейса пользователя в данном пакете позволяют визуально наблюдать за ходом развития процесса. С помощью специального инструментария, содержащегося в основных библиотеках, мы выводим на экран анимационную картину.

Выводится среда исследования (клеточная область), на которой располагаются и перемещаются агенты, а также отоб-

ражается величина ресурса в каждой ячейке.

Клетки, содержащие агентов-мужчин и агентов-женщин, окрашены в разные цвета. Степень распределения ресурса в среде различается по цветовой гамме: чем больше капитал ресурса, тем ярче цвет. Таким образом, мы можем выявить агентов-мужчин с большим ресурсом по окружающему его «ореолу».

Имитацию процесса можно наблюдать как в непрерывном, так и в пошаговом режиме. В любой момент времени можно узнать величину наличного ресурса агента-мужчины, расположение агентов, вызвав вспомогательное графическое окно для каждого агента. Изменяя в данном окне значение параметров, мы имеем возможность переместить любого агента, поменять его характеристики.

При первоначальном запуске программы-модели появляется пользовательская панель управления, позволяющая переключать режимы работы (остановка, непрерывное и пошаговое развитие, сохранение любого этапа исследования), панель начальных данных модели, где отображаются коэффициенты и начальные значения параметров, которые исследователь может установить.

Экспериментально выявлены *три* типа поведения агентов и соответствующие им формы брака:

- *моногамная семья*,
- *парная семья*,
- *полигамная семья*.

Они образуются в зависимости от потребностей женщин в ресурсах и от возможностей мужчин обеспечить их этими ресурсами.

Первый тип появляется, когда возможность мужчин в обеспечении ресурсами примерно равна среднему уровню потребности женщин; в этом случае образуются стабильные семьи, состоящие из двух агентов разного пола, например *моногамные семьи*.

На рис. 2.5 (левый столбец) представлены три стадии развития социума с первым типом поведения: начальная, про-

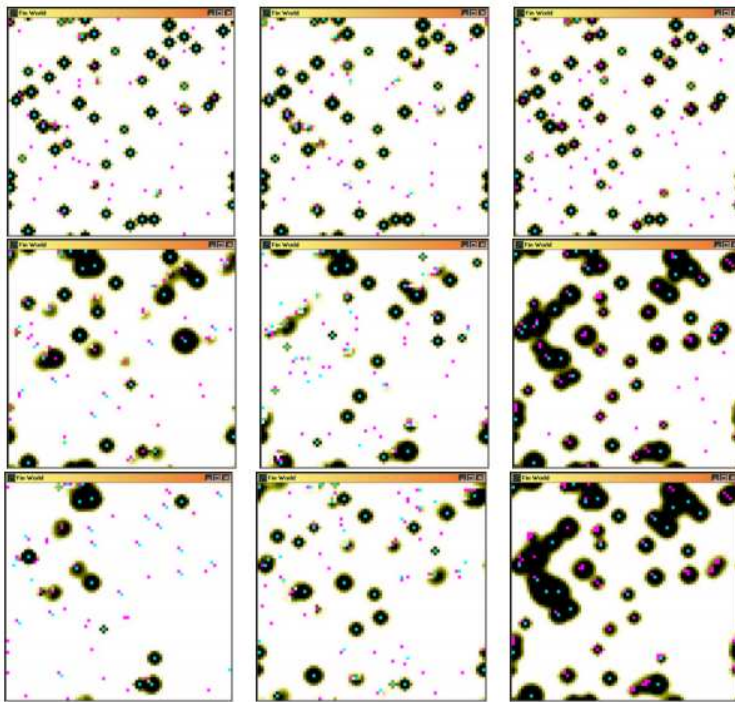


Рис. 2.5. Стадии развития моногамных семей (левый столбец), «парных семей» (в центре) и полигамных семей (справа)

межуточная и финальная. В начальной стадии агенты располагаются случайным образом. Светлые точки — агенты-мужчины, темные — агенты-женщины. Вокруг агентов-мужчин образован темный «ореол», характеризующий наличие ресурсов. Через некоторый промежуток времени (на промежуточной стадии) видим: уменьшение ресурса у одних агентов-мужчин и увеличение у других, перемещение агентов-женщин ближе к ресурсообеспеченным агентам-мужчинам, образование нескольких семей. В этих семьях устанавливается баланс роста и потребления ресурса. В финальной стадии

практически все агенты образовали моногамные семьи (слева, внизу).

Второй тип поведения (рис. 2.5, центральный столбец) наблюдается в случае, когда потребности женщин существенно превышают средний уровень обеспечения ресурсами мужчин. При этом даже если семьи и образуются, то они существуют непродолжительное время, а в большинстве случаев вообще не возникают. Такой тип поведения можно охарактеризовать термином «*парная семья по Энгельсу*».

В финальной стадии (рис. 2.5) (в центре, внизу) видно отсутствие стабильных семей. При непрерывном наблюдении за процессом развития социума заметно образование и распад кратковременных семей.

Третий тип (рис. 2.5, правый столбец) возникает тогда, когда возможность мужчин в обеспечении ресурсами превышает средний уровень потребности женщин. В этом случае образуются семьи, прототипом которых являются, например, *полигамные семьи* (полигиния), в которой один мужчина может обеспечить своими ресурсами существование нескольких жен.

На рисунке 2.5 (справа, внизу) в финальной стадии изображены полигамные семьи. Вокруг агентов-мужчин скапливаются несколько агентов-женщин.

Найденные формы брака согласуются с формами брака, описанными в работе Ф. Энгельса [125]. Это дает основание полагать, что данная модель хорошо описывает влияние общего ресурса, которым обладают мужчины, на интерес к ним женщин, а также на формы брака в возникающих семьях.

2.5. Общение людей, по Бёрну

В основу модели положены принципы коммуникаций между индивидами, описанные в книге Э. Берна [15].

Индивид, в соответствии с теорией Берна, в каждый момент времени находится в одном из трех со-

стояний: Родитель (Р), Взрослый (В), Ребенок (Рб).

Транзакцией Берн называет единицу общения. Люди, находясь вместе в одной группе, неизбежно заговорят друг с другом. Это «транзакционный стимул».

Человек, к которому обращен транзакционный стимул, в ответ что-то скажет или сделает. Этот ответ называется «транзакционной реакцией».

То или иное состояние одного индивида вызывает стимул у другого, порождающий ответную реакцию первого индивида. Каждая реакция, в свою очередь, становится стимулом.

Направленность одного индивида, находящегося в некотором состоянии, на состояние другого индивида определяется таблицей стимулов и зависит от текущего состояния индивида. Например, таблица

	Р	В	Рб
Р	0	0	1
В	0	1	0
Рб	1	0	0

описывает следующие стимулы: $P \rightarrow Pб$, $V \rightarrow V$, $Pб \rightarrow P$. Завязывание «разговора» выглядит следующим образом: $X \rightarrow Y$, $Z \rightarrow V$. Это означает, что первый индивид, находясь в состоянии X , обратился ко второму, имеющему состояние Y ; но второй индивид изменил уже состояние Y на Z и ориентирован на состояние V . Общение продолжится, если транзакция $X \rightarrow Y$, $Z \rightarrow V$ не является *перекрестной*, и прервется, если она именно такова. Список перекрестных транзакций можно найти в книге Берна [15].

2.5.1. Правила «межличностного» взаимодействия агентов

Принимаются следующие правила поведения агентов:

- все агенты в модели имеют потребность в общении;
- перекрестные транзакции прекращают процесс коммуникации;
- суммарный голод общения уменьшается в процессе общения;
- при отсутствии общения суммарный голод общения увеличивается;
- после перекрестной транзакции агенты, участвовавшие в ней, на определенное время (время отторжения) не участвуют в коммуникации друг с другом, даже если оба «голодны».

2.5.2. Описание внешней среды – поля взаимодействия и принципы перемещения агентов по полю

Внешняя среда – это некоторое абстрактное пространство, изображаемое при моделировании как плоский квадрат, разбитый на клетки:

- Агенты осуществляют свою искусственную жизнь во внешней среде, называемой нами *полем*.
- Движение агентов в поле может быть реализовано различными способами. В модели заложено два типа движения:
 - случайное блуждание,
 - тяга к агенту, жаждущему общения.

Случайное блуждание – наиболее примитивный тип перемещения в пространстве. В этом случае большинство коммуникаций случайно.

При **тяге к жаждущему общения** агент просматривает *зону видимости* вокруг себя и затем двигается в направлении самого «голодного» агента из своей зоны видимости. Зона видимости указывает окрестность агента, в которой он может следить за состоянием других участников. В отсутствии кого-либо в зоне видимости он перемещается случайно.

Время модели дискретное. Каждый шаг – это один отсчет по временной шкале. На каждом шаге выполняются определенные действия: устанавливается, кто в каком состоянии и кто с кем взаимодействует, изменяются состояния в результате взаимодействий, производятся перемещения в соответствии с выбором направления движения и т. д.

2.5.3. Описание зоны видимости

Каждый агент может завязать общение только с тем агентом, который находится в зоне его видимости. Самой простой зоной видимости является круг некоторого радиуса, в центре которого находится наш агент. Но в действительности следует учесть и более сложные варианты «завязывания» разговора в группах. Для этого воспользуемся теорией отношений, изложенной в [69].

Пусть агент i находится в состоянии X и завязывает разговор с агентом k . Агент k может находиться в одном из трех состояний B , P и P_6 . Следовательно, мы имеем не двух «реальных» агентов i и k , а *четыре* разных виртуальных агентов i_1, \dots, i_4 . На языке [69] это означает, что мы имеем дело с унарной вещественной системой отношений ранга 4. Она, как известно, предусматривает девять различных типов межличностных отношений $m_{ik}^{(j)}(2)$, $j = 1, \dots, 9$.

Интерпретируя $m_{ik}^{(j)}(2)$ как «метрику», мы считаем, что зона видимости $Z(i, d)$ агента i включает всех агентов k , до которых $m_{ik}^{(j)}(2)$ -расстояние не превосходит числа d , т. е.

$$k \in Z(i, d) \iff \{(x_k^1, x_k^2, \dots) : m_{ik}^{(j)}(2) < d\}.$$

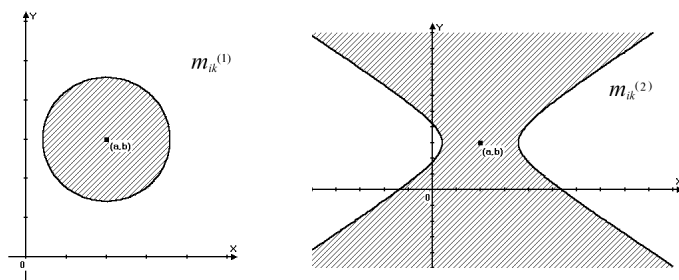


Рис. 2.6. Зоны видимости агента, находящегося в т. (a,b), в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(1)}$ (2) и $m_{ik}^{(2)}$ (2) соответственно

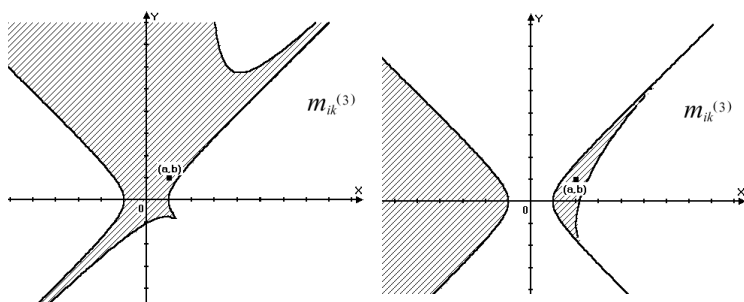


Рис. 2.7. Различные варианты зоны видимости агента, находящегося в т. (a,b), в случае межличностных отношений типа $m_{ik}^{(3)}$ (2)

В случае межличностного взаимодействия $m_{ik}^{(1)}$ (2) зона $Z(i,d)$ действительно является кругом. Но для других восьми случаев это совершенно иные геометрические фигуры (см. рис. 2.6–2.11). Следует ожидать, что разные зоны видимости скажутся и на общении агентов в группе.

Это и показывает компьютерное моделирование. Реализация представленной модели осуществлена в мультиагентной системе моделирования *SWARM*. Данный пакет обладает библиотекой графического интерфейса, используемой для вы-

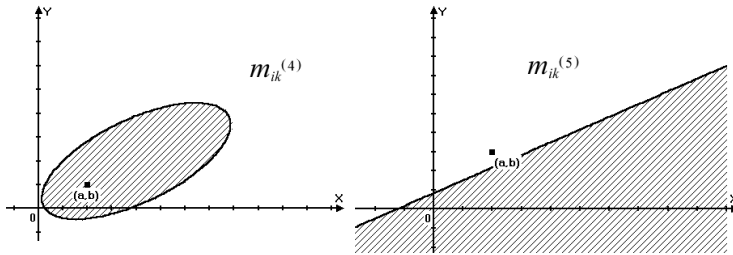


Рис. 2.8. Зоны видимости агента, находящегося в т. (a,b), в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(4)}$ (2) и $m_{ik}^{(5)}$ (2) соответственно

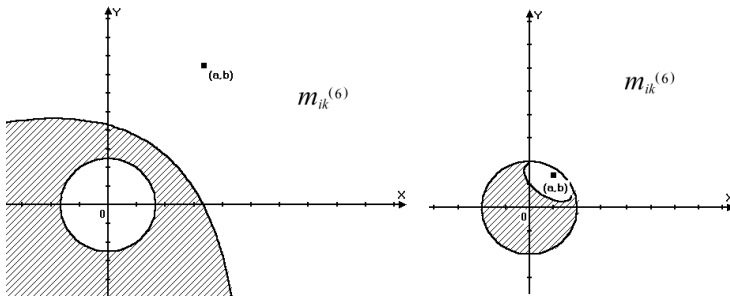


Рис. 2.9. Различные варианты зоны видимости агента, находящегося в т. (a,b), в случае межличностных отношений типа $m_{ik}^{(6)}$ (2)

вода различных результатов моделирования, таких как графики, диаграммы и др. Также с помощью специального инструментария, содержащегося в основных библиотеках, можно вывести на экран анимационную картинку и визуально наблюдать за процессом общения агентов в искусственной среде.

В результате проведенных компьютерных экспериментов при разных зонах видимости были выявлены разнообразные типы общения. Например, огромный интерес представляет взаимодействие агентов в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(6)}$ (2), при котором возможны различные варианты зон видимости агентов в зависимости от их местоположения. Если агент находится внутри некоторого ограничивающегося круга,

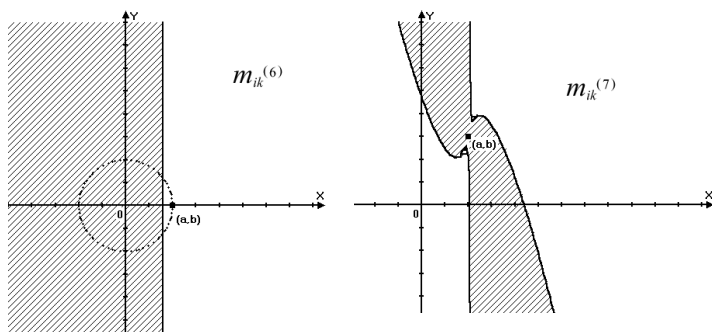


Рис. 2.10. Зоны видимости агента, находящегося в т. (а,в), в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(6)}$ (2) и $m_{ik}^{(7)}$ (2) соответственно

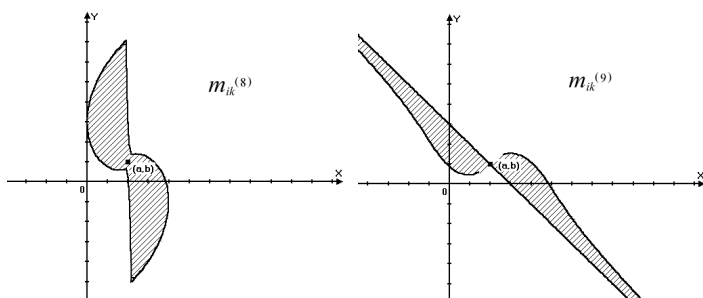


Рис. 2.11. Зоны видимости агента, находящегося в т. (а,в), в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(8)}$ (2) и $m_{ik}^{(9)}$ (2) соответственно

то он может общаться только с теми, кто также расположен внутри этого же круга. С другой стороны, агент, находящийся на границе данного круга, видит остальных в пределах некоторой полуплоскости. Для агента, занимающего позицию вне круга, доступны для взаимодействия только те агенты, которые располагаются в полукольце, но в то же самое время данный агент не находится в их зоне видимости (рис. 2.9–2.10). Это сильно отражается на общении агентов.

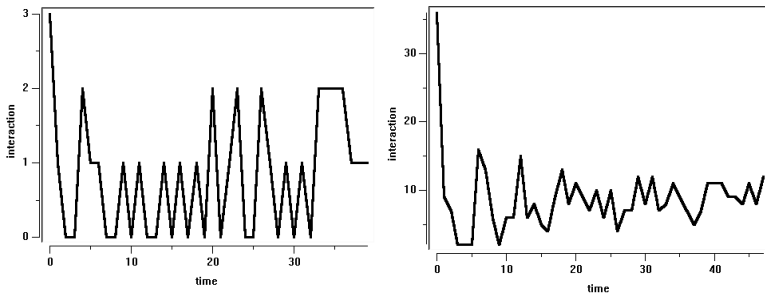


Рис. 2.12. Количество взаимодействий агентов в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(1)}(2)$ и $m_{ik}^{(2)}(2)$ соответственно

2.5.4. Определение количества взаимодействий агентов

Модель позволяет определять количество взаимодействий агентов с течением времени.

Например, на рис. 2.12 представлены графики зависимости количества взаимодействий агентов от времени при различных типах зон видимости согласно рис. 2.6.

В приведенном примере рассматривается взаимодействие пятидесяти агентов, имеющих собственные состояния, матрицу стимул-реакция, свою зону видимости и матрицу переходов состояний. Так как при проведении компьютерного моделирования мы рассматриваем расположение агентов только в положительной части полуплоскости, то зоны видимости на рис. 2.6 в этом случае будут еще ограничиваться и положительными полуосями координат. Расстояние d в данном примере положительно, но его можно брать и отрицательным.

2.5.5. Конфигурации агентов в поле

Визуально наблюдая за процессом межличностного общения агентов при различных зонах видимости, можно обнаружить многообразные типы групп «общающихся» агентов. На

рис. 2.13–2.15 приведены примеры самых оригинальных «узоров» из полученных в компьютерном эксперименте. Зоны видимости агентов связаны с системой координат искусственной среды. Начало координат находится в левом верхнем углу области моделирования. Направления координатных осей указаны на рис. 2.13. В случае $m_{ik}^{(1)}(2)$ каждый агент взаимодействует только с двумя, тремя соседями, но достаточно продолжительное время. При $m_{ik}^{(2)}(2)$ общение происходит как бы на одной «волне» (рис. 2.13, справа). Взяв $m_{ik}^{(3)}(2)$, мы можем видеть образование одной большой группы, в которой все агенты общаются друг с другом. Если зона видимости описывается $m_{ik}^{(4)}(2)$, то агенты подразделяются уже на две группы, имеющие форму круга, и взаимодействуют только внутри своей группы (рис. 2.14, справа). Рассмотрев $m_{ik}^{(5)}(2)$ как зону видимости, мы наблюдаем два типа коммуникации агентов: часть агентов общается в группе с формой круга, а другая – в виде цепочки. Красивый пример получается при выборе межличностного общения вида $m_{ik}^{(9)}(2)$, где агенты образуют группу, вытянутую вдоль одной из диагоналей поля, в которой все могут обращаться друг к другу (рис. 2.15, справа).

В результате компьютерного моделирования можно сделать вывод, что разные «метрики» для зон видимости не только влияют на количество взаимодействий, но и формируют различные типы коллективного общения.

Выбор «метрик» определялся типом межличностных взаимодействий, которые были перечислены в [69]. Правомерность нашей формализации межличностных отношений основывается на предположении о фундаментальном характере теории Ю.И. Кулакова, подтверждаемом тем, что из этой теории выводимы все известные социометрические индексы, используемые в психологии и социологии [37]. Можно усомниться в допустимости интерпретации отношения m_{ik} в качестве меры, задающей зоны видимости агентов, но труднее оспорить тезис кибернетики о наличии общих законов, одинаково применимых к описанию природы и общества. В качестве одного из

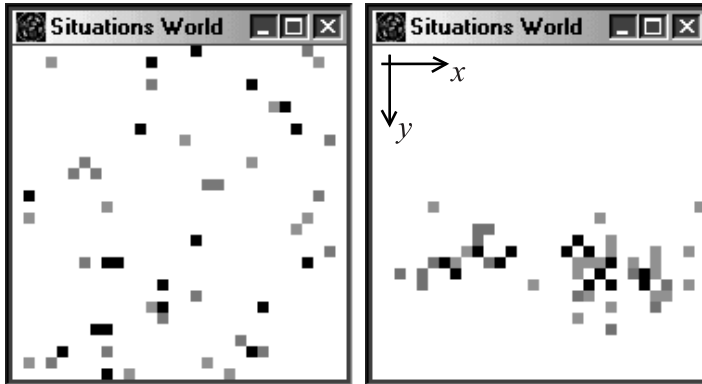


Рис. 2.13. Взаимодействие агентов в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(1)}(2)$ и $m_{ik}^{(2)}(2)$ соответственно

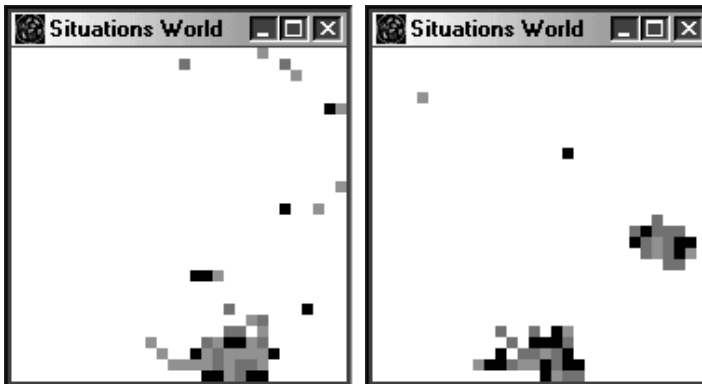


Рис. 2.14. Взаимодействие агентов в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(3)}(2)$ и $m_{ik}^{(4)}(2)$ соответственно

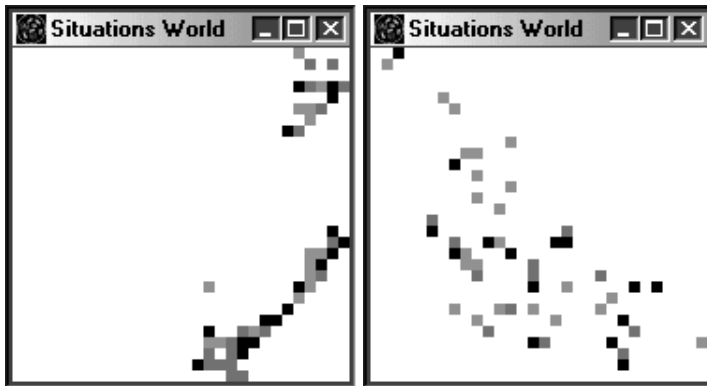


Рис. 2.15. Взаимодействие агентов в случае межличностных отношений $m_{ik}^{(5)}(2)$ и $m_{ik}^{(9)}(2)$ соответственно

таких законов был взят закон симметрии Ю.И. Кулакова.

2.6. Бронислав Трентовский

Бронислав Фердинанд Трентовский (польск. Bronisław Ferdynand Trentowski; 21 января 1808, деревня Ополе, Хелмский повят – 16 июня 1869) – крупный польский философ и педагог XIX века, ученик Гегеля.

Трентовский в книге «Отношение философии к кибернетике, или искусство управления народом» в 1843 году ввел в употребление термин «кибернетика».

Образование получил в Варшавском университете; был преподавателем латинского языка, истории и литературы в Щучине. События 1831 года принудили его к эмиграции. Он был приват-доцентом во Фрейбур-



Б. Трентовский

ге, потом переселился в Париж, где в 1845–1847 годах редактировал журнал «Terazniejszosci przyszolosc», деятельно интересуясь политическими вопросами.

Основные книги Трентовского: «Grundlage der universellen Philosophie» (1837); «Chowanua czyli system pedagogiki narodowej» (1842); «Myслиni, szyli calokszalt logiki narodowej» (1844); «Stosunek filozofii do cybernetyki» (1843) и др.

Критикуя существующие философские системы, Трентовский осуждает их за односторонность и пытается примирить идеализм с реализмом. Вполне осуществить эту задачу примирения, по его мнению, призвана славянская раса; ее философия – философия будущего³.

³ Энциклопедический словарь Ф.А. Брокгауза и И.А. Ефрона.

Глава 3

Математическая кибернетика

Кибернетика – раздел математики, занимающийся вопросами управления, рекурсивности и информации.

Грегор Бейтсон

Математическая кибернетика включает следующие направления исследований:

- теория управления;
- теория информации;
- исследование операций;
- теория игр;
- теория принятия решений;
- математические вопросы семиотики.

3.1. Теория управляющих систем

Под *управлением* в широком смысле понимается конкретная организация тех или иных процессов для достижения на-

меченных целей [70, с. 42].

Процессы, протекающие непрерывно в природе, технике, обществе и экономике, математически описывают с помощью дифференциального уравнения вида

$$\frac{dx}{dt} = f(t, x, u), \quad (3.1)$$

где $x = (x^1, \dots, x^n) \in \mathbb{R}^n$ величины, характеризующие изучаемый процесс, $t \in [0, T]$ – временной параметр, $u = (u^1, \dots, u^k) \in \mathbb{R}^k$ – параметры управления:

$$u^j = u^j(t) \quad (j = 1, \dots, k). \quad (3.2)$$

Если изучаемая система при $t = 0$ находится в начальном положении

$$x^i(0) = x_0^i \quad (i = 1, \dots, n), \quad (3.3)$$

то, задавая управление (3.2), по данным (3.3) посредством решения дифференциального уравнения (3.1), находят положение

$$x^i(T) = x_T^i \quad (i = 1, \dots, n), \quad (3.4)$$

в которое система перейдет при осуществлении данного управления.

Однако часто надо найти управление (3.2) так, чтобы при его реализации система из положения (3.2) пришла к положению (3.4) именно к моменту $t = T$.

Наконец, одной из важнейших задач теории управления является нахождение *оптимального управления*. Эта задача формулируется, например, следующим образом.

Требуется найти управление (3.2) так, чтобы при его реализации система из положения (3.2) пришла к положению (3.4) и при этом интеграл

$$\int_0^T F(x(t), u(t)) dt \quad (3.5)$$

принял максимальное значение.

Усложнением данной задачи является накладывание различных ограничений на управление. Например, управление должно осуществляться в строго определенных границах:

$$|u^i| \leq 1 \quad (i = 1, \dots, k). \quad (3.6)$$

Ограничение может сводиться и к тому, что функции $u^i(t)$ не могут быть гладкими или непрерывными и т. д.

Таким образом, приходится говорить не просто о нахождении требуемого управления, но управления допустимого, т. е. удовлетворяющего тем или иным ограничениям.

Вместо дифференциального уравнения, соответствующего непрерывно текущему времени, часто приходится изучать системы, меняющиеся скачками, т. е. в случае, когда время меняется дискретно: $t_n = 0, 1, 2, \dots, N$. Тогда дифференциальное уравнение (3.1) заменяют на дискретное уравнение динамики

$$x_{n+1} = f(t_n, x_n, u_n), \quad (3.7)$$

где x_n и u_n дискретно меняющиеся характеристики системы и ее управления.

Математическая теория управления изучает дифференциальные уравнения, описывающие эволюцию изучаемой системы, и самые разнообразные задачи, касающиеся поиска управления данной системой. При этом управление подчиняют различным ограничениям, а понятию оптимальности управления находят наиболее подходящие в конкретных ситуациях определения.

3.2. Теория информации

Понятию информации могут придаваться самые различные трактовки и даваться разнообразные определения. Однако важно не только договориться, что понимается под этим словом, но и научиться измерять эту информацию. В математике существуют несколько определений информации, позво-

ляющих ее измерять (вычислять), но наиболее устоявшимся является определение, данное Шенноном.

3.2.1. Определение информации

Передаваемые по любому физическому каналу данные — это слова, составленные из букв. Конечный набор используемых букв образует алфавит. Обозначим через \mathcal{X} алфавит.

Пусть по каналу передаются буквы x алфавита \mathcal{X} . Буквы берутся случайным образом, буква x выбирается с вероятностью p_x . Следовательно, имеем случайную величину X .

Энтропия случайной величины X есть число

$$H(X) = - \sum_{x \in \mathcal{X}} p_x \log p_x \quad (3.8)$$

с соглашением $0 \log 0 = 0$ ¹.

Энтропия — это мера недостатка, дефицита, неопределённости информации о величине X . Очевидно, что $H \geq 0$.

Информация случайной величины X равна

$$I(X) = H_0 - H(X), \quad (3.9)$$

где H_0 — начальная энтропия о величине X , т. е. тот дефицит информации, который имелся до начала передачи букв по каналу связи. Поскольку $H_0, H(X) \geq 0$, то $I(X)$ говорит об уменьшении дефицита, неопределённости в информации, которое наступает после передачи. Иначе говоря, раз неопределённость уменьшается, то это означает получение новых данных, новой информации $I(X)$ о величине X .

¹ Здесь $\log = \log_2$.

3.2.2. Классический канал связи с шумом. Теоремы Шеннона

Любой реальный канал связи накладывает помехи на передаваемые сигналы, искажая передаваемые буквы из $\mathcal{X} = \{x\}$. Вместо буквы x приходит буква y . Следовательно, на выходе получают буквы, вообще говоря, буквы из алфавита $\mathcal{Y} = \{y\}$. Такой канал называют *каналом с шумом*.

Канал с шумом характеризуется набором условных вероятностей $\{\mathbf{P}\{y|x\}\}$. Число $\mathbf{P}\{y|x\}$ – это условная вероятность того, что принята буква y при условии, что была передана буква x . На выходе, таким образом, имеем дело со случайной величиной Y .

Канал с шумом обозначаем как $\mathbf{P}\{y|x\}$.

Уменьшение информационного содержания источника описывается *шенноновским количеством информации* :

$$I(X; Y) = H(X) - H(X|Y),$$

где

$$H(X|Y) = H(X, Y) - H(Y)$$

– *условная энтропия* входа X относительно выхода Y и

$$H(X, Y) = \sum_{x \in \mathcal{X}} p_{x,y} \log p_{x,y}$$

– *совместная энтропия* пары случайных величин (X, Y) , соответствующей совместному распределению вероятностей $p_{x,y} = \mathbf{P}(y|x)p_x$.

Справедлива также формула

$$I(X; Y) = H(Y) - H(Y|X).$$

В этой формуле:

$H(Y)$ – энтропия выхода; она говорит об уровне дефицита информации о данных на выходе;

$H(Y|X)$ – составляющая, обусловленная шумом [114, с. 12].

Более того,

$$I(X; Y) = H(X) + H(Y) - H(X, Y).$$

Канал без памяти – это канал $\mathbf{P}\{y|x\}$, который действует на каждую передаваемую букву независимо.

Пропускная способность канала без памяти есть число

$$C = \max_{\{p_x\}} I(X; Y), \quad (3.10)$$

где максимум берётся по всем возможным распределениям $\{p_x\}$ на входе.

По каналу пересылаем слова $x^{(n)} = x_1 x_2 \dots x_n$ длины n . С ними связывается случайная величина X^n . Вероятность слова $x^{(n)}$ равна

$$p_{x^{(n)}} = p_{x_1} p_{x_2} \dots p_{x_n}.$$

На выходе канала с шумом вместо $x^{(n)}$ имеем слово $y^{(n)} = y_1 y_2 \dots y_n$ длины n . Это случайная величина Y^n . Имеем условные вероятности для канала без памяти

$$p(y^{(n)}|x^{(n)}) = p(y_1|x_1) \cdot \dots \cdot p(y_n|x_n).$$

Кодом (W, V) размера N для канала $\mathbf{P}\{y|x\}$ называется совокупность из N входных слов $W = \{w^{(1)}, \dots, w^{(N)}\}$ в алфавите \mathcal{X} длины n вместе с разбиением множества \mathcal{Y}^n на непересекающиеся подмножества $V^{(0)}, V^{(1)}, \dots, V^{(N)} \subset \mathcal{Y}^n$.

Множества $V^{(j)}$ называются *решающими областями*, образованные выходными словами в канале связи.

С кодом (W, V) ассоциируется следующее *правило принятия решения*:

1) если на выходе принято слово $y^{(n)} \in V^{(j)}$, $j = 1, \dots, N$, то принимается решение, что было послано слово $w^{(j)}$;

2) если на выходе принято слово $y^{(n)} \in V^{(0)}$, то никакого определенного решения не принимается.

Число

$$R = \frac{\log N}{n} \quad (3.11)$$

называют *скоростью передачи*, и равна она числу передаваемых битов на символ для данного кода.

Средняя вероятность ошибки равна

$$\bar{P}_e(W, V) = \frac{1}{N} \sum_{j=1}^N \left(1 - p(V^{(j)} | w^{(j)}) \right),$$

где

$$p(V^{(j)} | w^{(j)}) = \mathbf{P}\{Y^n \in V^{(j)} | X^n = w^{(j)}\}.$$

Теорема 3.1 (Шеннон). Пусть

$$p_e(n, N) = \min_{W, V} \bar{P}_e(W, V)$$

– минимальная средняя ошибка для всех возможных кодов размера N со словами длины n .

Тогда

1) если $R < C$, то $\lim_{n \rightarrow \infty} p_e(n, 2^{nR}) = 0$ (прямая теорема кодирования);

2) если $R > C$, то $\lim_{n \rightarrow \infty} p_e(n, 2^{nR}) = 1$ (обратная теорема кодирования).

3.3. Исследование операций

Наука *исследование операций* создана с целью разработки количественно обоснованных рекомендаций при принятии решений. Характерной чертой методов исследования операций является расчленение (представление) изучаемого процесса на совокупность мелких операций, что позволяет лучше понять

поведение исходного процесса [67, с. 10]. *Операция* при этом понимается как составное понятие любого процесса управления.

Решение всякой задачи с точки зрения исследования операций состоит из задания компонент (факторов) решения, налагаемых на него ограничений (отражающих ограниченность ресурсов) и системы целей. Всякая система компонент решения, удовлетворяющих всем ограничениям, называется допустимым решением. Каждой из целей соответствует *целевая функция*, заданная на множестве допустимых решений, значения которой выражают меру осуществления цели.

Необходимо в множестве всех допустимых решений найти то, которое является наиболее целесообразным, или *оптимальным*, т. е. то, для которого мера (значение) целевой функции является желанной (оптимальной). Такие решения называют *оптимизационными*, или *оптимальными*. Именно их и предлагают субъекту, принимающему решение.

Различные типы задач породили разделы исследования операций, называемые *моделями исследования операций*, получившие собственные названия. Они обычно выделяются содержательной терминологией и имеют специфические методы решения. К их числу относятся *транспортная задача, задача размещения, теория надёжности, теория расписаний, теория управления запасами, теория сетевого планирования и теория массового обслуживания*.

3.4. Теория игр

Теория игр – это поиск управления системой, две, как минимум, подсистемы которой находятся в состоянии конфликта, и в каких-то случаях ни в коем случае не готовы к компромиссу либо вынуждены придерживаться некоторой оптимальной стратегии поведения, позволяющей не ухудшать сложившуюся ситуацию.

Конфликт – это ситуация, в которой сталкиваются интересы двух сторон и каждая сторона пытается достичь наиболь-

шей выгоды для себя, сводя к минимуму свои потери. Человеческая практика наполнена всевозможными конфликтными ситуациями, которые требуют разрешения.

Для решения этих задач естественно обратиться к математике. Математическая модель конфликтной ситуации называется *игрой*, а математическая теория, помогающая принимать рациональные решения в конфликтной ситуации, – *теорией игр*.

3.4.1. Игры и их классификация

Игра состоит из игроков, которые поочередно или одновременно делают *ходы*. Игра осуществляется по установленному набору *правил игры*. Правила игры описывают [53, с. 14]:

- что разрешается или что требуется делать лицу, называемому игроком, при всех возможных обстоятельствах;
- сведения, которые получает каждый игрок;
- момент окончания игры, сумму, которую уплачивает или получает каждый игрок, и цель каждого игрока;
- число ходов, число игроков и платёж (*платёжные функции*, или *функции выигрышей* игроков). Платёж является количественной оценкой результатов игры.

Действия каждого игрока, его поведение, т. е. выбор *хода*, определяется набором правил, которые составляют *стратегию* игрока. Делая ход, игрок выбирает стратегию из множества возможных своих стратегий. Выигравший игрок получает *выигрыш*.

Выигрыш – это оценка ожидаемых результатов всех возможных сочетаний стратегий одного игрока со стратегиями другого.

Оптимальной стратегией называют такую стратегию, при которой достигается максимальный ожидаемый средний выигрыш при многократном повторении игры. При этом под «максимальным ожидаемым средним выигрышем» понимается тот выигрыш, который даёт выбор стратегии на основе принятого *критерия оптимальности*.

Игры классифицируют по числу игроков – игра двух лиц, трех лиц и т. д. Различают игры с *нулевой суммой платежей* и *игры с ненулевой суммой платежей*.

Если игроки производят расчеты только между собой, то такая игра называется *игрой с нулевой суммой*.

Игра называется *конечной*, если в ней каждый игрок имеет конечное число стратегий. Прочие игры называются бесконечными.

Игра называется *игрой с полной информацией*, если в ней игроки знают все ходы, сделанные до текущего момента, равно как и возможные стратегии противников. Это позволяет им в некоторой степени предсказать последующее развитие игры. Полная информация недоступна в параллельных играх, так как в таких играх неизвестны текущие ходы противников.

Игра называется *игрой с неполной информацией*, или *бай-ессовой*, если перед началом игры игроки не располагают всей информацией о стратегиях, платежных функциях или иной важной для принятия решений информацией, касающейся других игроков.

Игра называется *параллельной*, или *статичной*, если либо игроки ходят одновременно, либо, по крайней мере, они не осведомлены о выборе других игроков до тех пор, пока все не сделают свой ход. Параллельные игры являются *одноходовыми*: все игроки делают только один ход.

Параллельные игры имеют *нормальную*, или *стратегическую, форму*, т. е. описываются платёжной матрицей. Примером параллельной игры являются матричные игры (см. § 3.4.2).

Игра называется *последовательной*, или *динамической*, если игроки могут делать ходы в заранее установленном либо случайном порядке, но при этом они получают некоторую информацию о предшествующих действиях других. При этом не предполагается, что эта информация является полной. Последовательные игры являются *многоходовыми*.

Последовательные игры имеют *экстенсивную*, или *расширенную, форму*, т. е. представляются в виде *ориентированного*

дерева, где каждая вершина соответствует ситуации выбора игроком своей стратегии. Каждому игроку сопоставлен целый уровень вершин. Платежи записываются внизу дерева, под каждой листовой вершиной (см. § 3.4.4). Примером последовательной игры являются позиционные игры (см. § 3.4.4).

Игра называется *коалиционной*, или *кооперативной*, если игроки могут объединяться в группы, беря на себя некоторые обязательства перед другими игроками и координируя свои действия. В группу могут объединиться злоумышленники P_1, \dots, P_{N-1} с целью произведения скоординированной атаки на некоторый информационный ресурс P_N .

Игра называется *бескоалиционной*, если все ее игроки действуют независимо друг от друга, без взаимного сотрудничества или информации.

3.4.2. Матричные игры

Матричная игра Γ_A — это игра, где два игрока P_1 и P_2 играют в игру с нулевой суммой, имея конечное число чистых стратегий $i \in \{x_1, \dots, x_n\}$ и $j \in \{y_1, \dots, y_m\}$ соответственно, и для каждой пары стратегий (ij) задан платеж a_{ij} второго игрока первому. Матрица $A = (a_{ij})$ задает выигрыш первого игрока и проигрыш второго.

Матричная игра является одноходовой. Оба игрока делают свой ход, после чего происходит распределение выигрышей. Поскольку это игра с нулевой суммой, то выигрыш игрока P_1 равен a_{ij} , а выигрыш игрока P_2 равен $(-a_{ij})$.

Платежная матрица

$P_1 \setminus P_2$	y_1	y_2	...	y_m
x_1	a_{11}	a_{12}	...	a_{1m}
x_2	a_{21}	a_{22}	...	a_{2m}
...
x_n	a_{n1}	a_{n2}	...	a_{nm}

Игра заключается в том, что каждый из игроков, не имея

информации о действиях противника, делает один ход (выбирает одну из своих стратегий). Каждая выбранная пара стратегий – по одной стратегии для каждого игрока – определяет *партию игры*. Партия, в свою очередь, определяет платеж каждому игроку. Результатом партии является выигрыш одного игрока и проигрыш другого.

Партия игры состоит в том, что каждый игрок принимает одно решение, а именно делает свой выбор стратегии. Повторный выбор стратегий игроками – это второй шаг в игре, вторая партия. Возможны и третий, и четвертый шаги. Иначе говоря, игра может быть многошаговой, т. е. состоять из нескольких партий.

Оптимальными стратегиями для игроков могут быть стратегии i_0, j_0 , удовлетворяющие *максиминному критерию фон Неймана*, согласно которому должно выполняться равенство

$$a_{i_0 j_0} = \max_i \min_j a_{ij} = \min_j \max_i a_{ij}.$$

3.4.3. Чистые и смешанные стратегии

Стратегия игрока – это подробное описание того, как должен поступать игрок (какое должен выбирать решение) во всех возможных ситуациях, сложившихся в процессе игры.

Таким образом, каждый игрок P имеет в своем распоряжении конечный набор своих стратегий:

$$x_1, x_2, \dots, x_n.$$

Каждая стратегия x_i – это конкретное действие игрока (ход), которое он производит в зависимости от сведений, которые, возможно, он может получить в ходе игры. Такие стратегии называют *чистыми стратегиями*.

Под *смешанной стратегией* s игрока P будет пониматься набор неотрицательных чисел p_1, \dots, p_n , сумма которых равна единице и которые поставлены в однозначное соответствие чистым стратегиям x_1, x_2, \dots, x_n этого игрока.

Как это понимать, если выражаться на более простом языке? Если стратегия игрока описывается во фразах «надо стратегию x_1 выбирать с вероятностью p_1 , стратегию x_2 – с вероятностью p_2 , ..., стратегию x_n выбирать с вероятностью p_n », то мы имеем дело со смешанной стратегией.

На практике каждая из компонент p_i смешанной стратегии s показывает относительную частоту использования игроком соответствующей чистой стратегии x_i .

Смешанную стратегию будем представлять как формальную сумму

$$s = \sum_{i=1}^n p_i x_i,$$

где

$$\sum_{i=1}^n p_i = 1, \quad \forall i (p_i \geq 0).$$

3.4.4. Позиционные игры

Позиционные игры определяются с помощью понятия дерева игры. Напомним понятия дерева, которое является связным графом без циклов.

Граф – это пара (V, E) , где V – конечное множество вершин (узлов), а E – множество ребер. Ребро состоит из двух вершин.

Ориентированным графом, или *орграфом*, называется граф (V, E) , ребра которого упорядочены, т. е. для каждого ребра $\{v, w\}$ сказано, какая из двух вершин ребра первая, а какая – вторая. Если v – первая, а w – вторая, то упорядоченное ребро записываем как (v, w) . Упорядоченное ребро (v, w) называем *дугой*. Также говорят, что дуга $e = (v, w)$ выходит из вершины v и входит в вершину w .

Последовательность вершин v_0, v_1, \dots, v_k называется *путем* из вершины v_0 в вершину v_k длины k в графе (орграфе) (V, E) , если $(v_{i-1}, v_i) \in E$ для $i = 1, \dots, k$. Путь называется простым, если в нем нет повторяющихся вершин. Замкнутый (когда

$v_0 = v_k$) путь называют *циклом*. Простой цикл не имеет повторяющихся вершин.

Граф называется *связным*, если между любыми его двумя вершинами имеется путь.

Дерево – это связный граф без циклов. Дерево $D = (V; E)$ состоит из множества вершин (узлов) V и множества дуг E .

Ориентированным деревом называется ориентированный граф, если² $|E| = |V| - 1$ и в каждую вершину входит не более одной дуги. Существует единственная вершина, в которую не входят дуги, она называется *корнем*. Вершины, из которых не выходят дуги, называются *листьями*.

К любому листу в ориентированном дереве из корня ведет только один путь.

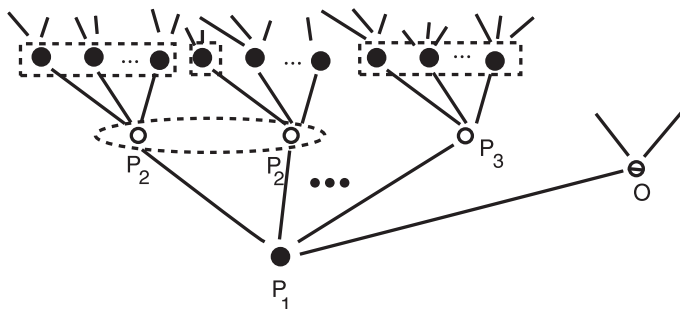


Рис. 3.1. Дерево игры (пунктирными овалом и прямоугольниками обозначены информационные множества [51])

Позиционная игра игроков P_1, \dots, P_N представляется *ориентированным деревом игры* $D = (V, E)$.

Позиционная игра является многоходовой игрой.

Каждая вершина – это *позиция игры*. Она метится либо обозначением игрока P_i ($i = 1, \dots, N$), либо буквой O , говорящей о том, что ход в этой позиции делается случайным образом.

Буква O говорит о том, что ход делается не игроком, а

² Через $|A|$ обозначена мощность множества A .

каким-либо случайным механизмом, часто называемым *природой*.

Ход в позиции игры, помеченной игроком, – это ход данного игрока, и задается он любой дугой, исходящей из вершины.

Корень дерева – это выделенная вершина, она соответствует *начальной позиции* игры. С нее начинается игра. Листья являются *конечными позициями* в игре.

Если вершина помечена игроком P_i , то это говорит о том, что в этой позиции ход делает игрок P_i . Дуги, выходящие из позиции и соединяющие ее со следующими за ней, называются *альтернативами*.

Дугам e_v , выходящим из узла v с меткой O , приписаны вероятности $p_v(e_v)$, с которыми делается соответствующий ход e_v

$$\sum_{e_v} p_v(e_v) = 1.$$

Листья – конечные вершины игры; это позиции, из которых ходы не делаются. Каждому листу l приписан вектор $(\pi_1(l), \dots, \pi_N(l))$ выигрышей игроков в случае, когда игра заканчивается в данной вершине l .

Из корня к листу ведет единственный путь. Такой путь называется *партией*. Процесс игры состоит в том, что происходит переход вдоль пути, ведущего из корня к листу, через промежуточные позиции, по которым проходит путь.

3.4.5. Критерии оптимальности стратегий

Разработаны самые разные критерии выбора оптимальных стратегий.

Исторически первым критерием был *максиминный критерий фон Неймана* для матричных игр.

Большое значения имеют так называемые ситуации *равновесия Нэша*. При пребывании в равновесии Нэша игроки добиваются устойчивого равновесия. Игрокам выгодно сохранять это равновесие, так как любое изменение, отклонение от оптимальной стратегии ухудшит их положение. Поведение игроков

должно соответствовать *нэшевской рациональности*, согласно которой необходимо подчас пожертвовать личными интересами, учитывать интерес противника. Но столь рациональными (разумными) должны быть оба игрока.

Часто используется *критерий оптимума по Парето*, согласно которому игроки должны стремиться к ситуациям, в которых их выигрыши максимальны, или, другими словами, к ситуациям, любое отклонение от которых повлечет уменьшение выигрыша хотя бы одного игрока.

Критерий доминирования в матричных играх предлагает игроку выбирать ту стратегию, которая доминирует остальные в платежной матрице.

Критерий Сэвиджа для принятия решения использует не только возможные выигрыши, заданные в платежной матрице, но и проигрыши, данные матрицей рисков.

Равновесие Штакельберга – это такой набор стратегий игроков, что первый игрок (лидер) с учетом целей партнеров адекватно прогнозирует равновесия Нэша, складывающиеся после его хода, и оптимизирует свою стратегию соответственно, а остальные поступают согласно его прогнозу (С.Г. Коквин).

Но важно не только ввести в теорию тот или иной критерий оптимальности, нужно доказать, что для рассматриваемого типа игры соответствующие оптимальные стратегии существуют. Причем для практического использования данного критерия необходимо задать алгоритм, посредством которого оптимальные стратегии будут найдены (вычислены).

3.5. Теория принятия решения

Теория принятия решений – область исследования, изучающая закономерности, которые проявляются в том случае, когда необходимо выбрать путь решения разного рода задач, а также способ поиска наиболее выгодного, лучшего из множества возможных решений.

Подобного рода исследования основываются не только на

понятиях и методах математики, но также на статистике, экономике, социологии, психологии и других науках.

Принятие решения неизбежно связано с перечислением альтернатив, вариантов, ведущих к цели, и с выбором одной из них.

Различают *нормативную теорию*, которая описывает рациональный процесс принятия решения, и *дескриптивную теорию*, описывающую практику принятия решений.

3.5.1. Оптимизационная модель принятия решений

Одним из наиболее часто используемых способов принятия решения является *оптимизационная модель принятия решений*.

Как правило, при принятии решения приходится выбрать то или иное значение (управляющего) параметра x , пробегающего некоторое множество X возможных его значений. Его называют *множеством альтернатив*. Выбор характеризуется тем, что некоторая функция F , именуемая *целевой* и определенная на множестве X , должна принять как можно большее (или меньшее) значение. Вид этой функции угадывается или выявляется в ходе дополнительных предварительных исследований (или просто берется на основе некоторого практического опыта, имеющегося у принимающего решение).

В таком случае *оптимизационная модель принятия решения* сводится к математической задаче вида:

$$F(x) \rightarrow \max,$$

$$x \in X.$$

В общем случае параметр x может иметь различную природу – число, вектор, множество и т. п., которая диктует необходимость выявления того, что мы понимаем под максимизацией значения целевой функции.

Таким образом, цель принимающего решение – найти x так, что оно максимизирует в некотором смысле целевую функцию

$F(x)$, учитывая при этом множество X возможных значений управляющего параметра. Множество X , говорят, задает *ограничения* на изменения управляющего параметра x .

Пример 3.1. Среди оптимизационных задач в теории принятия решений наиболее известны задачи *линейного программирования*, в которых максимизируемая функция $F(x)$ является линейной, а ограничения X задаются линейными неравенствами [90]:

$$F(x) = \sum_{k=1}^n a_k x_k \rightarrow \max,$$

$$x = (x_1, \dots, x_n) \in \mathbb{R}^n,$$

$$\sum_{k=1}^n a_{ik} x_k \leq b_i, \quad (i = 1, \dots, m).$$

Часто рассматривается следующая задача *многокритериальной оптимизации*. Ищется такое решение $x \in X$, для которого

$$F_i(x) \rightarrow \max, \quad (i = 1, \dots, m),$$

$$x \in X,$$

где $F_i : X \rightarrow \mathbb{R}$ ($i = 1, \dots, m$) – оценочные функции, называемые иногда «качествами», или «полезностями».

3.5.2. Принятие решений в условиях неопределенности

Принятие решения – это не только выбор альтернативы x из множества альтернатив X , но и неявное предположение, что в случае принятия решения x однозначно наступает исход y_x из всего множества исходов Y . Иначе говоря, считается, что существует отображение $\phi : X \rightarrow Y$, $y_x = \phi(x)$, определяющее результаты принятых решений.

Однако часто бывает так, что даже выбор решения x не означает, что наступит y_x , поскольку при принятом решении

x на возможный исход могут повлиять ряд неподконтрольных факторов z_1, \dots, z_m . В результате будем иметь несколько исходов y_1, \dots, y_m . Иначе говоря, принятое решение x ведет к неизвестному исходу, к неизвестному результату $y_j = \phi(x, z_j)$.

Это произошло в силу того, что принимающий решение находился в условиях неопределенности.

Условия неопределённости – это ситуация, когда результаты принимаемых решений неизвестны.

Различают три типа неопределенностей:

- неопределенность наших знаний об окружающей обстановке и действующих в данном явлении факторах (это ситуация, именуемая «неопределенностью природы»);
- неопределенность действий активного или пассивного партнера или противника;
- неопределенность целей.

В ситуации неопределенности можно выделить некоторое множество Z , элементы которого характеризуют возможный вариант событий.

Можно предположить, что в случае варианта событий $z \in Z$ выбирается решение x из множества альтернатив X . Например, посредством решения задачи

$$F(x, z) \rightarrow \max_x .$$

Из этой задачи можно вычислить $x = x(z)$. Фактически принимающий решение пытается учесть, подгадать свои действия под возможный вариант развития событий. Ситуация неопределенности выявляется во всей полноте картины.

Целевая функция F , называемая в данной теории *функцией реализации*, зависит теперь не только от альтернативы x , но и от элемента неопределенности z , т. е. имеем целевую функцию вида $F(x, z)$. Важной особенностью является то обстоятельство, что в момент принятия решения значение параметра z неизвестно принимающему решение.

Как найти x , если принимающий решение находится в условиях неопределенности, когда ему неизвестна ситуация z , т. е. значение параметра z ?

Возможны различные критерии выбора решения x . Одним из них является [117, с. 74]

Критерий Вальда, или *принцип максимина*, который рассматривает следующую оптимизационную модель

$$\min_{z \in Z} F(x, z) \rightarrow \max_{x \in X}. \quad (3.8)$$

Она состоит в предположении, что окружающая среда ведет себя «наихудшим» (для лица, принимающего решение) образом.

3.5.3. Биполярный выбор

Принятие решения – это во многих случаях выбор из двух альтернатив. Как делается выбор [75, 111, 138], если требуется сделать его между двумя альтернативами: альтернативой А и альтернативой В?

Для определенности, чисто условно, будем считать, что альтернатива А – это *негативный полюс*, а альтернатива В – *позитивный полюс*.

Примем также, что делающий выбор находится под *давлением* извне в пользу позитивного полюса (альтернативы В). Это обычная ситуация в жизни – некто или нечто убедительно подталкивает вас предпочесть альтернативу В.

Как правило, делающий выбор как рефлексирующий субъект *способен оценивать* оказываемое на него давление.

Наконец, делающий выбор изначально, опираясь на свой опыт, на свою интуицию, до того как ему приходится сделать выбор, имел *намерение* отдать предпочтение вполне определенной альтернативе.

Формализуя ситуацию данного биполярного выбора, вводим следующие величины:

x_1 – давление в сторону позитивного полюса, измеряемое в некоторых оговариваемых или принятых единицах;

x_2 – оценка делающим выбор этого давления, измеряемая в некоторых оговариваемых или принятых единицах (оценка значения величины x_1);

x_3 – намерение делающего выбор выбрать позитивный полюс, измеряемое в некоторых оговариваемых или принятых единицах;

X – реальная готовность делающего выбор выбрать положительный полюс, измеряемая в некоторых оговариваемых или принятых единицах.

Единицы измерения величин x_1, x_2, x_3, X – это особый вопрос, который решается отдельно тем, кто занимается проблемой формализации биполярного выбора в каждой конкретной ситуации.

Примем для определенности, что $x_1, x_2, x_3, X \in [0, 1]$. Положительному полюсу соответствуют значения 1, отрицательному – 0.

Модель *биполярного выбора* принимает следующий вид:

$$X = f(x_1, x_2, x_3).$$

Функцию f можно найти, если конкретизировать ситуацию выбора.

Примем следующие три аксиомы биполярного выбора (В.А. Филимонов, [111]):

Аксиома 1. (Аксиома свободы реализации намерения). Если внешний мир принуждает выбрать негативный полюс – $x_1 = 0$ и делающий выбор правильно оценивает это давление, т. е. имеем $x_2 = 0$, то он реализует намерение, которое у него сложилось до ситуации выбора, т. е. $X = x_3$. Иначе говоря, $f(0, 0, x_3) = x_3$.

Аксиома 2. (Аксиома незлонамеренности делающего выбор). Если внешний мир принуждает выбрать позитивный полюс – $x_1 = 1$, то делающий выбор всегда его выбирает, т. е. $X = 1$. Иначе говоря, $f(1, x_2, x_3) = 1$.

Аксиома 3. (Аксиома вреда излишней доверчивости). Если внешний мир принуждает выбрать

негативный полюс $-x_1 = 0$, а делающий выбор неправильно оценивает это давление, т. е. имеем $x_2 = 1$, то он всегда выбирает негативный полюс, т. е. $X = 0$. Иначе говоря, $f(0, 1, x_3) = 0$.

Теорема 3.1 (В.А. Лефевр [138]). *Если выполнены аксиомы биполярного выбора и функция f линейна относительно каждого из своих аргументов, то*

$$f(x_1, x_2, x_3) = x_1 + (1 - x_1)(1 - x_2)x_3.$$

Пример 3.1. (Выбор равных альтернатив: золотое сечение). Пусть у нас есть 100 одинакового размера и цвета шариков. Высыпем их на стол и предложим человеку, который не знает, что все шарики одинаковые, рассортировать их в **две кучки**, каждая из которых состоит из шариков одинакового размера. Эксперименты показали, что результат сортировки дает кучки, одна из которых содержит число, близкое к 62 шарикам, а другая – к 38. Иначе говоря, разбиение далеко от того, чтобы кучки содержали приблизительно одинаковое число шариков (по 50%).

Объяснение столь удивительному факту дает теорема Лефевра.

Ясно, что давление $x_1 = 0,5$. В таком случае сортировщик свободен в реализации своего намерения и реальный выбор $X = x_3$. Оценка внешнего давления, которого фактически нет, вполне логично должна считаться совпадающей с намерением, т. е. $x_2 = x_3$.

Следовательно, имеем

$$X = 0,5 + (1 - 0,5)(1 - X)X,$$

или

$$X^2 + X - 1 = 0.$$

Откуда, отбрасывая отрицательный корень, получаем

$$X = (\sqrt{5} - 1)/2 \approx 0,618.$$

Иначе говоря, сортировщик упорно будет стремиться к тому, чтобы 68% оказались в одной кучке, а 38% – в другой.

Пропорция $0,618 : 0,382$ известна под названием «золотое сечение» ($0,382 = 1 - 0,618$).

3.6. Математические вопросы семиотики

Семиотика – наука о знаках. Семиотика изучает свойства знаковых систем и языков, созданных на их основе. Знаки – это объекты любой природы, т. е. буквы, цифры, которым поставлено в соответствие некоторое значение.

Знак – это материальный объект, используемый для передачи информации (И.Н. Кавинкина, [60]).

Поскольку знак есть носитель информации, а понятие информации является одним из основных понятий кибернетики, то естественен интерес кибернетики к семиотике.

Для специалиста в области семиотики

Информация – это все, что люди сообщают друг другу (намеренно или непроизвольно, «машинально») или машинам. Информация всегда имеет знаковую природу и передается с помощью знаков [98].

Понятия и методы семиотики приобретают особое значение в связи с развитием теории и практики рационального хранения и автоматической обработки информации.

На рис. 3.2 приведена классификация знаков. Среди них *конвенциональные знаки* образуют наиболее представительную группу. На их основе строятся естественные и формальные языки и системы записи. К последним относятся, например, шахматная нотация, цветовые коды, нотная запись [98, с. 17].

К формальным (искусственным) языкам относятся языки программирования. Языки программирования – это класс формализованных, т. е. использующих методы математики и математической логики, систем записи, предназначенных для автоматической (компьютерной) переработки информации. Они применяются как в общении человека и компьютера, так и в передаче от человека к человеку специальной информации (относящейся к программированию) [98, с. 70].



Рис. 3.2. Схема классификации знаков [98]

К математическим вопросам семиотики относятся следующие направления исследований:

- синтаксическое исследование знаковых систем;
- содержательная интерпретация знаковых систем;
- дешифровка знаковых систем;
- математическая лингвистика, математические исследования языков;
- модели языков и языковых структур;
- семантика языка (математические вопросы);
- логическая семантика и семантические антиномии;
- математические вопросы машинного перевода.

Семиотика имеет важное прикладное значение. Во-первых, с помощью семиотики можно создавать искусственные языки, например, языки программирования, позволяющие алгоритм-

мизировать процессы обработки информации. А во-вторых, опираясь на результаты, достигнутые семиотикой, создавать алгоритмы, обеспечивающие обработку текстов на естественном языке, решать задачи по машинному переводу, автоматическому индексированию реферирования, по переводу с естественного языка на формальный и др.

3.7. Рекурсивность

Рекурсивность – это самоповторение. Рекурсивный – значит использующий самого себя [116, с. 196].

«Долгое время термин «рекурсия» употреблялся математиками, не будучи четко определенным. Его приблизительный интуитивный смысл можно описать следующим образом. Значение искомой функции f в произвольной точке x (под точкой подразумевается набор значений аргументов) определяется, вообще говоря, через значения этой же функции в других точках h , которые в каком-то смысле предшествуют x , т. е. $f(x) = F(f(h))$. Само слово «рекурсия» означает возвращение. Рекурсивные функции – это вычислимые функции» [59, с. 128].

Многие практические действия предполагают рекурсивное, или самоповторяющееся, поведение, возвращающееся к самому себе. В реальном мире рекурсия проявляется в виде различных форм и связей. Она может быть как в структуре (например, во фракталах), так и в действиях. Целенаправленное поведение и решение проблем являются рекурсивными процессами. Точно так же и исследования в области искусственного интеллекта (см. гл. 10) рекурсивны в своей попытке исследовать процессы, протекающие в головном мозге, при помощи которых происходит исследование и решение проблем, в том числе и исследования в области искусственного интеллекта [116, с. 200].

В *организационной кибернетике* Бира [17] известна следующая теорема о рекурсивных системах:

В рекурсивной организационной структуре любая жизнеспособная система содержит другие жизнеспособные системы, и сама содержится в жизнеспособной системе следующего уровня.

Рекурсивность является основой построения так называемых рекурсивных вычислительных машин, имеющих не фон-неймановскую архитектуру (см. § 4.3).

В программировании рекурсией называется ситуация, когда процедура или функция сама себя вызывает, а рекурсивное определение данных возникает тогда, когда структура данных (запись, объект) содержит вложенный объект, структурно аналогичный самому себе или (что бывает чаще) ссылку на такой же объект. Преимущество рекурсивного определения объекта заключается в том, что такое конечное определение способно описать потенциально бесконечную структуру данных³.

Рекурсивность – это одна из черт социок cybernetics (см. § 2.1.2).

3.8. А.А. Ляпунов



А.А. Ляпунов

Алексей Андреевич Ляпунов (1911–1973) сыграл решающую роль в утверждении кибернетики в СССР и России, один из основателей российской кибернетики.

В 1928 году Ляпунов поступил на физико-математический факультет Московского университета. Вскоре ему пришлось покинуть университет как «лицу дворянского происхождения». Его родственником был знаменитый математик А.М. Ляпунов. С 1932 года Алексей Андреевич становится учени-

ком академика Н.Н. Лузина, под руководством которого и по

³ См. статью «Рекурсия» в Википедии.

составленным программам которого Алексей Андреевич получил математическое образование.

Во время Великой Отечественной войны он добровольцем ушел на фронт и в качестве офицера артиллерии прошел боевой путь от Крыма до Восточной Пруссии.

Кибернетическая научная деятельность Алексея Андреевича началась с создания им операторного метода программирования. Этот метод послужил основой дальнейших работ по теории программирования и работ по автоматизации программирования [110, с. 32].

В 1954 году в МГУ под руководством А.А. Ляпунова начал работу семинар «Автоматы и мышление». В этом семинаре принимали участие физиологи, лингвисты, психологи, математики. Принято считать, что именно в это время в России зародилось научное направление, изучающее искусственный интеллект. Как и за рубежом, выделились два основных направления – нейрокибернетика и кибернетика «черного ящика».

Позже А.А. Ляпунов писал, имея в виду период времени с 1952 по 1962 год: «За короткий срок отношение к кибернетике прошло следующие фазы: 1) категорическое отрицание; 2) констатация существования; 3) признание полезности, отсутствие задач для математики; 4) признание некоторой математической проблематики; 5) полное признание математической проблематики кибернетики».

В 1958 году А.А. Ляпунов организовал выпуск сборников «Проблемы кибернетики», редактором которых был он. Сборник выходил и после его смерти. Всего с 1958 по 1984 годы вышел 41 выпуск.

С 1962 года А.А. Ляпунов работал в Академгородке под Новосибирском и открыл кафедру теоретической кибернетики в Новосибирском университете. Благодаря А.А. Ляпунову, в 1960-е годы новосибирский Академгородок становится центром кибернетических исследований в СССР.

Глава 4

Техническая кибернетика

Кибернетика – наука о целеустремленном управлении развивающимися процессами.

А.И. Берг

Техническая кибернетика – наука, изучающая технические системы управления и передачи, хранения и переработки информации.

Важнейшие направления исследований, относящиеся к технической кибернетике, – это разработка и создание автоматических и автоматизированных систем управления, а также автоматических устройств и комплексов для передачи, переработки и хранения информации. К технической кибернетике следует отнести проектирование и создание ЭВМ (компьютеров).

Техническая кибернетика возникла тогда, когда в приборах автоматического управления и регулирования начали использовать специальные (в первую очередь электронные) счетно-

решающие устройства, когда в этих устройствах стали конструировать «память» и т. п.

4.1. Построение ЭВМ

Из числа сложных технических преобразователей информации наибольшее значение для кибернетики имеют ЭВМ¹.

Первые работы по созданию ЭВМ, использующей двоичную систему счисления, были проведены до Великой Отечественной войны в Институте электротехники АН УССР под руководством С.А. Лебедева. Война остановила процесс построения советских ЭВМ².

В 1942 году первая в мире вычислительная машина начала действовать в США. Макет процессора принадлежал Дж. Атанасову и К. Берри. Работы были засекречены. В 1943–1946 годах другая группа американцев построила вычислительную машину ЭНИАК. В этой машине впервые была реализована архитектура, предложенная Джоном фон Нейманом. Для проведения вычислений потребовалось выработать способ общения с ЭВМ – появились зачатки современного программирования.

В 1951 году в Киеве заработала первая в континентальной Европе вычислительная машина – МЭСМ, затем – БЭСМ. За ними последовали машины М-1 и М-2, созданные в коллективе И.С. Брука, в 1953 году появился первый экземпляр ламповой ЭВМ «Стрела», а с 1954 года началось строительство семейства машин «Урал», главным конструктором которого был Б.И. Рамеев.

Все фундаментальные исследования и инженерные разработки в этой области были засекречены, а потому первая научная монография по теории ЭВМ и программированию имела

¹ См. статью «Кибернетика» в БСЭ (Большая советская энциклопедия).

² В Пензе на заводе математических машин в музее стоит машина «Урал» образца 1943 года. Она была сделана по заказу атомного проекта и могла решать системы линейных алгебраических уравнений.

гриф секретности и выдавалась лишь тем, кто имел так называемый допуск.

4.2. ЭВМ на трехзначной логике

Все известные ЭВМ во всем мире строили, основываясь на классической двузначной логике. Однако в СССР была построена ЭВМ, основанная на трехзначной логике Лукасевича.

4.2.1. Трехзначные логики Васильева и Лукасевича

Первую трехзначную логику построил в 1912 году российский ученый Н.А. Васильев. К утвердительным и отрицательным суждениям он добавил третье – индифферентное.

Независимо от Васильева трёхзначную логику высказываний разработал польский логик Лукасевич (1920). В качестве третьего логического значения высказывания было введено значение, выражаемое словами «вероятно», «нейтрально». О каждом высказывании в системе Лукасевича можно сказать: оно либо истинно (1), либо ложно (0), либо нейтрально (1/2).

Таблицы истинности в логике Лукасевича имеют вид [19]:

$A \Rightarrow B$	1	1/2	0
1	1	1/2	0
1/2	1	1	1/2
0	1	1	1

A	$\neg A$
1	0
1/2	1/2
0	1

$A \& B$	1	1/2	0
1	1	1/2	0
1/2	1/2	1/2	0
0	0	0	0

$\mathcal{A} \vee \mathcal{B}$	1	1/2	0
1	1	1	1
1/2	1	1/2	1/2
0	1	1/2	0
$\mathcal{A} \equiv \mathcal{B}$	1	1/2	0
1	1	1/2	0
1/2	1/2	1	1/2
0	0	1/2	1

4.2.2. ЭВМ «Сетунь»

В 1959 году в Советском Союзе была построена ЭВМ «Сетунь», которая использовала трёхзначную систему исчисления (цифры -1, 0, 1) и трёхзначную логику (0, 1/2, 1).

Главный конструктор: Н.П. Брусенцов; основные разработчики: Е.А. Жоголев, С.П. Маслов, В.В. Веригин.

«Сетунь» выпускалась серийно в Казани, но небольшими партиями, по 15–20 машин в год. Всего было произведено 50 машин.

Машина легко осваивалась программистами и вскоре была оснащена комплектом интерпретирующих программ с различной разрядностью чисел, с фиксированной и плавающей запятой, комплексными числами.



Н.П. Брусенцов

4.3. Рекурсивные вычислительные машины и машины с динамической архитектурой

Теоретической моделью компьютеров с фон-неймановской архитектурой является машина Тьюринга. Машину Тьюринг-



Рис. 4.1. Машина «Сетунь»

га можно реализовать в виде действующего устройства, которое будет работать медленнее, чем любой компьютер, но, кроме скорости, отличий не будет [59, с. 61]. Машина Тьюринга очень проста. Представьте себе бумажную ленту, разделенную на одинаковые небольшие ячейки. Рядом с лентой находится автомат, который способен прочесть символ из некоторого конечного алфавита, записанный в ячейке, стереть символ в этой ячейке или записать новый символ. После этого автомат может переместиться к соседней ячейке в одну или другую сторону.

Главное в архитектуре фон Неймана – наличие программы, хранящейся в памяти вычислительной машины и состоящей из последовательно выполняемых команд. Программа создается на основе алгоритма – последовательности действий, приводящих к достижению результата [59, с. 47].

Единственной альтернативой фон-неймановской архитектуре являются автоматные сети. Эта возможность была замечена В.А. Торгашевым, который предложил новый тип надежных вычислительных машин, названных им *рекурсивными*

*вычислительными машинами*³. Каждый автомат, входящий в автоматную сеть, является монофункциональным, т. е. выполняет одну функцию, простую или сложную, которая определяется индивидуальной архитектурой автомата и может изменяться в результате внешних воздействий. В автоматах автоматной сети отсутствует главный элемент фон-неймановской архитектуры – память, в которой хранится программа, состоящая из команд, и, соответственно, нет понятия последовательного выполнения программы. Для решения задачи в автоматной сети необходимо представить задачу не в алгоритмической, а в функциональной форме. При этом функциональная форма исходно является параллельной, так что в этом случае исчезают проблемы распараллеливания [59, с. 47].

Рекурсивность структуры состоит в том, что структура всякой модификации системы задается рекурсивным определением. Рекурсивные соотношения позволяют давать однозначное и конечное описание объекта, состоящего из сколь угодно большого или просто неизвестного числа элементов. Свойством же автоматных сетей является то, что они состоят из неограниченного числа элементов.

Поиск теоретической модели для рекурсивных машин привел к динамическим автоматным сетям: «теоретической моделью нового типа архитектуры являются динамические автоматные сети. Как и машину Тьюринга, описать динамическую автоматную сеть достаточно просто. Любая динамическая автоматная сеть является множеством связанных между собой динамических автоматов. Динамический автомат отличается от классического автомата наличием трех дополнительных свойств:

- каждый динамический автомат может порождать своих потомков, возможно отличающихся от родителя (таким свойством обладали клеточные автоматы фон Неймана);
- каждый динамический автомат может самоликвидиро-

³ Идея создания рекурсивных вычислительных машин не была чужда и самому Джону фон Нейману (см.: Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент // Автоматы: сб. ст. М.: ИЛ, 1956. С. 68–139).

ваться в зависимости от внутреннего состояния и/или сигналов, поступающих от соседей;

- каждый динамический автомат может изменять свои связи с другими автоматами, входящими в динамическую автоматную сеть.

Сравнивая две модели, можно заметить, что динамическая автоматная сеть обладает большей мощностью, чем машина Тьюринга. Действительно, в машине Тьюринга число состояний растет линейно по мере увеличения длины ленты (объема запоминающего устройства), образуя счетное множество, а число состояний динамической автоматной сети может расти экспоненциально, поскольку каждый предок порождает много потомков. Поэтому число состояний динамической автоматной сети имеет мощность континуума» [59, с. 61–62].

Эта модель позволила усовершенствовать идею рекурсивной вычислительной машины и привела к появлению вычислительных машин с *динамической архитектурой*.

Динамическая архитектура была реализована в проектах:

1. ЕС-2701, макроконвейер (рекурсивная машина), ИК АН УССР, Киев – В.М. Глушков.
2. ЕС-2703, система с программируемой структурой, ТРТИ, Таганрог – А.В. Каляев.
3. ЕС-2704, машина с динамической архитектурой, ЛНИВЦ АН СССР, Ленинград – В.А. Торгашев.
4. ПС-2000, система с перестраиваемой структурой, ИПУ АН СССР, Москва – И.В. Прангишвили.
5. МВК «Эльбрус-2», суперскалярный 10-процессорный комплекс, ИТМ и ВТ АН СССР, Москва – В.С. Бурцев.
6. МКП «Эльбрус-3Б», модульный конвейерный процессор, ИТМ и ВТ АН СССР, Москва – А.А. Соколов.
7. ВКС «Электроника ССБИС», векторно-конвейерный суперкомпьютер, ИПК АН СССР, Москва – В.А. Мельников.
8. «МАРС-Т», транспьютерная модульная расширяемая асинхронная система, СО АН СССР, Новосибирск – В.Е. Котов.
9. «МАРС-М», потоковая модульная расширяемая асинхронная система, СО АН СССР, Новосибирск – Ю.Л. Вишнеvский.
10. ЭВМ «ЛОКОН», клеточно-автоматная машина, ИИТ АН СССР, Москва – В.А. Бронников.

Доказательство высокой надежности машин с динамической архитектурой было продемонстрировано в ходе приемки «ЕС-2704» государственной комиссией. Во время решения одной из контрольных задач члены комиссии имели возможность вытащить из работающего образца любые устройства, включая блоки питания. Никакого резервирования в «ЕС-2704» не было предусмотрено. При удалении 11 случайно выбранных устройств, что составляло около 5% от общего объема, задача была успешно завершена с увеличением времени решения примерно на 30%. При этом на мониторе отображалось расположение вытащенных блоков. До сих пор ни один из суперкомпьютеров такими возможностями не обладает.

С 1994 года работы по созданию оригинальных российских вычислительных машин были остановлены.

4.4. Автоматические системы управления

Автоматическая система управления (САУ) – техническое устройство, управляющее некоторым техническим объектом в автоматическом режиме.

Отметим, что под *автоматизацией* понимается замена труда человека в действиях по управлению техническими управляющими устройствами. Следовательно, в автоматических системах человек полностью исключен из управления.

Теория автоматического управления – это область технической кибернетики, которая предназначена для разработки общих принципов автоматического управления техническими объектами.

Теория автоматического управления основана на теории автоматических регуляторов [101, с. 37], которая была разработана в основном в 1868–1876 годах в работах Д. Максвелла и И.А. Вышнеградского.

Целью теории автоматического управления является описание принципов построения и функционирования автомати-

ческих систем управления на базе современных математических методов и технических средств.

Создаваемые управляемые системы должны обладать вполне определенными характеристиками качества. Этими характеристиками являются устойчивость систем, точность и помехоустойчивость.

Рассмотрим примеры автоматических систем управления.

Пример 4.1. Система автоматического управления и контроля для атомных электростанций. Одним из российских производителей таких систем является ЗАО «Диаконт» – современное инженерно-производственное предприятие, специализирующееся на решениях по повышению безопасности и эффективности в атомной энергетике и газовой промышленности. В компании работают около 800 человек.

Пример 4.2. Система САУ-7.0. Создана с целью управления взлетом с полосы, посадкой на полосу самолета в полностью автоматическом режиме. Произведена Белорусской научно-производственной компанией ООО «КВАНД ИС».

Пример 4.3. Автоматическая система регулирования температурой ноутбука в зависимости от его использования и окружающих условий.

4.5. Автоматизированные системы управления

Если в управляющем устройстве автоматизирована только одна часть операций, а другая часть по-прежнему выполняется людьми, то имеем *автоматизированное* устройство [71].

Автоматизированные системы управления (АСУ) – это человеко-машинные системы.

Создаются АСУ для управления объектами (технологическими процессами), предприятиями, отраслью, а также для управления проектированием плановых расчетов, материально-технического снабжения и т. д. Как правило, это

системы компьютерного сбора, хранения, обработки разнообразной информации, необходимой для работы предприятий. Например, данные о финансовых потоках, наличии сырья, объемах готовой продукции, кадровая информация и прочее.

Первые в СССР АСУ внедрялись под руководством Николая Ивановича Ведуты (1913–1998). В 1962–1967 годах он был директором Центрального научно-исследовательского института технического управления (ЦНИИТУ) и членом коллегии Министерства приборостроения СССР. Это в большой степени определило появление автоматизированных систем управления производством на машиностроительных предприятиях.

4.6. В.М. Глушков

Виктор Михайлович Глушков (1923–1982) – один из самых первых кибернетиков в СССР. Герой Социалистического Труда, кавалер трех орденов Ленина, ордена Октябрьской Революции и других. Получил высшее математическое образование в Ростовском университете (1947–1948) и Новочеркасском политехническом институте (1943–1948). С октября 1948 года преподавал в Уральском лесотехническом институте (Свердловск).

В октябре 1951 года он защитил кандидатскую диссертацию на тему «Локально нильпотентные группы без кручения с условием обрыва некоторых цепей подгрупп», а в декабре 1955 года после окончания одногодичной докторантуры Московского госуниверситета – докторскую на тему «Топологические локально нильпотентные группы».

С августа 1956 года В.М. Глушков по приглашению академика АН УССР Б.В. Гнеденко начал работать в Институте математики АН УССР заведующим лабораторией вычислитель-



В.М. Глушков

ной техники и математики. Это повлияло на то, что интересы В.М. Глушкова сместились с топологии и алгебры к теоретическим основам кибернетики и вычислительной техники.

В 1964 году вышла в свет монография «Введение в кибернетику», сыгравшая большую роль в распространении идей кибернетики и вычислительной техники.

В.М. Глушков – один из зачинателей внедрения кибернетики в народное хозяйство. Он также внес большой вклад в формирование идей создания автоматизированных систем управления.

С конца 1970-х годов Виктор Михайлович ведет исследования в области перспективных архитектур вычислительных машин. Под его руководством были разработаны ЭВМ «Киев», серии персональных «МИР», «ДНЕПР», «Киев-67», «Киев-70» и ряд других ЭВМ.

В конце 1960-х годов были начаты работы по созданию универсальной ЭВМ «Украина» на базе архитектуры, отличной от привычных принципов фон Неймана. Однако эта система не была реализована из-за отсутствия необходимой элементной базы.

В.М. Глушков предложил создать в СССР единую общегосударственную автоматизированную систему (ОГАС) управления экономикой на основе сети вычислительных центров. Несмотря на все его усилия, такая система так и не появилась.

4.7. А.А. Берс

Андрей Александрович Берс (1934–2013) родился в 1934 году в Свердловске в семье А.А. Берса и Е.М. Берс, известных уральских археологов. Отец был арестован в 1935 году, в 1937 году расстрелян (впоследствии реабилитирован). Отец приходился внучатым племянником жене Л.Н. Толстого Софье Берс. Происходит из старинного 900-летнего рыцарского рода, получившего рыцарство во времена Вильгельма Завоевателя.

Доктор технических наук, профессор. Окончил в 1961 году

Московский энергетический институт, факультет автоматики и вычислительной техники. С 1961 года – сотрудник Отдела программирования ВЦ СО АН СССР (в настоящее время – Институт систем информатики СО РАН). Ученик А.П. Ершова. Пионер кибернетики и программирования в СССР.



А.А. Берс

А.А. Берс помог открыть аспирантуру по математическому и программному обеспечению вычислительных машин, комплексов и компьютерных сетей на факультете компьютерных наук (ФКН) в Омском государственном университете им. Ф.М. Достоевского. Некоторое время был профессором кафедры кибернетики ОмГУ. Читал лекции по основам информатики.

Входил в состав редколлегии журнала «Математические структуры и моделирование», издаваемого ФКН ОмГУ.

Область интересов: основания информатики, архитектура программно-аппаратных комплексов, электронная подготовка изданий и др. Придумал схемы потока данных, электронную подготовку изданий, представление и преобразования шрифтов на ЭВМ, замкнутые открытые операционные обстановки высокого уровня, принцип равнозначности единичного исполнения программного фрагмента и конкретной деятельности, принцип информационной замкнутости.

Главный конструктор системы РУБИН – программы компьютеризации производственных процессов редакции и издательства главной газеты СССР «Правда».

Глава 5

Биокибернетика

С точки зрения кибернетики различие между живым организмом и кибернетическим устройством, выполняющим те же функции, что и живой организм, заключается в конечном счете только в истории их создания...

К. Тринчер

В 1945 году, еще до раскрытия молекулярного строения хромосом, один из создателей квантовой механики Эрвин Шредингер использовал понятие информации для пояснения передачи наследственных свойств организма и сравнил линейное строение хромосом с зашифрованным кодом [142].

Биологическая кибернетика изучает общие законы хранения, передачи и переработки информации в биологических системах. Биологическая кибернетика включает *медицинскую кибернетику*, которая занимается главным образом моделированием заболеваний и использованием этих моделей для диагностики, прогнозирования и лечения; *физиологическую кибернетику*, изучающую и моделирующую функции клеток и органов в норме и патологии; *нейрокибернетику*, в которой моделируются процессы переработки информации, проходящие в нервной системе; *психологическую кибернетику*, моделирующую психику на основе изучения поведения человека.

5.1. Регулирование и управление

Для поведения биологических систем характерно (*само*)-*регулирование* – свойство автоматически устанавливать и поддерживать на определенном, относительно постоянном уровне те или иные физиологические или другие биологические показатели. *Регулирование* – это поддержание постоянства или изменение в желательном направлении значения некоторого параметра, характеризующего управляемый процесс.

Чем регуляция отличается от управления?

«Регулирование – это более простой процесс, чем управление. Когда говорят о регулировании, обычно имеют в виду управление сравнительно простым процессом в целях сохранения его в определенных, заранее заданных пределах. Управление означает воздействие на более сложный процесс или систему, причем границы управления могут быть широкими и не лежать в узких рамках. В теории управления рассматриваются сложные взаимосвязанные процессы или системы. Именно таким управлением занимается кибернетика. Поэтому регулирование – это частный случай управления» (А.И. Берг, [1, с. 256]).

5.2. Биокибернетические системы

Биологическая система – это целостный биологический объект различной сложности (клетки, ткани, органы, популяции организмов, экосистемы, биогеоценозы, биосфера в целом), состоящий из совокупности взаимодействующих элементов и имеющий, как правило, несколько уровней структурно-функциональной организации.

Биологическая система, рассматриваемая в рамках кибернетического подхода, называется *биокибернетической системой*.

Биокибернетические системы поддерживают свое существование за счет постоянного саморегулирования, используя для этого самые разнообразные обратные связи. Процессы

управления и саморегулирования в биокибернетических системах обычно дискретны и периодичны и подчас имеют форму противоречивых воздействий [83, с. 8]. Саморегулирование как форма управления есть передача информации, понижающей степень неопределенности системы и тем самым способствующей ее жизнеспособности.

«Одной из основных особенностей биокибернетических систем считают их иерархическое строение, когда любую систему рассматривают как элемент системы более высокого уровня, а сам элемент – как систему из более простых элементов. Так, клетку можно считать элементом системы тканей, ткани – элементом системы органа, орган – элементом организма, а организм входит в надорганизменные системы. Каждая система более высокого уровня прямо или косвенно подчиняет своим закономерностям все системы более низкого уровня.

Основополагающей особенностью биокибернетических систем является их способность к самоорганизации» [83].

5.3. Определение жизни

Биология изучает живые организмы, главной составляющей биологических систем являются *живые* организмы. Что в таком случае понимается под терминами «живой» и «жизнь»?

Классическим является определение жизни, данное в XIX веке Фридрихом Энгельсом:

«Жизнь есть способ существования белковых тел, существенным моментом которого является постоянный обмен веществ с окружающей их внешней природой, причем с прекращением этого обмена веществ прекращается и жизнь, что приводит к разложению белка. И у неорганических тел может происходить подобный обмен веществ, который и происходит с течением времени повсюду, так как повсюду происходят, хотя бы и очень медленно, химические действия. Но разница заключается в том, что в случае неорганических тел об-

мен веществ разрушает их, в случае же органических тел он является необходимым условием их существования» [126].

А.А. Ляпунов дал кибернетическое определение жизни:

Жизнь — это «высокоустойчивое состояние вещества, использующее для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую состояниями отдельных молекул.

В 2010 году американский генетик Джон Крейг Вентер (Venter) создал первую в истории человечества биосинтетическую бактерию, способную к саморепликации (размножению).

5.4. Эволюция как управляющий процесс

Эволюцию органического мира с позиций кибернетики и теории информации в 1950-е годы впервые рассмотрел советский биолог И.И. Шмальгаузен. Он представил эволюцию как регулируемый процесс. Биогеоценоз выступает по отношению ко всем составляющим его популяциям видов как управляющее устройство (регулятор).

Регулируемым объектом является популяция как наименьшая эволюционирующая единица. Популяция, входящая в состав биогеоценоза, связана с ним двумя каналами.

Первый канал связи лежит на молекулярном уровне организации и служит для передачи наследственной информации от зиготы до первичных половых клеток зрелой особи. Второй канал связи лежит на уровне организации особи и служит для передачи обратной информации от фенотипов к биогеоценозу.

Обратная связь от популяции к биогеоценозу осуществляется через посредство жизнедеятельности ее особей. Механизмом преобразования обратной информации в биогеоценозе является естественный отбор. «Обратная информация переда-

ется через признаки фенотипа¹, которые одновременно позволяют контролировать эту организацию со стороны факторов биогеоценоза» [122, с. 15]. В ответ на изменения факторов внешней среды в организмах растений возникают колебания интенсивности процессов жизнедеятельности. Эти колебания особь включает в свой динамический информационный стереотип, превращая, таким образом, в информацию, управляющую внутренними процессами [89, 95].

«Отбор, осуществляя контроль и регуляцию, т. е. поддерживая стационарное состояние биогеоценоза, тем самым становится движущим фактором эволюции вида и обеспечивает не просто изменение вида как системы, которое могло бы привести ее к разрушению, а переход системы из одного гармонического (устойчивого по принципу регулирования) состояния в другое гармоническое состояние. Выделив на этом уровне целостный объект, в котором протекает процесс циркуляции информации и имеется управляющее устройство и управляемый объект, каналы прямой и обратной связи, генераторы помех и самонастраивающиеся устройства, И.И. Шмальгаузен способствовал развитию идеи целостности биологических систем. Одна из основных задач кибернетики – раскрыть механизм поддержания целостности сложных систем в условиях динамического режима» [122, с. 5].

5.5. Биоинформатика

Опираясь на признание важной роли передачи, хранения и обработки информации в биологических системах, в 1970 году Полина Хогеveg ввела термин «биоинформатика», определив его как изучение информационных процессов в биотических, т. е. живых системах.

Биоинформатика занимается:

- математическими методами компьютерного анализа в

¹ *Фенотип* в биологии – совокупность всех признаков и свойств организма, сформировавшихся в процессе его индивидуального развития.

сравнительной геномике (геномная биоинформатика);

- разработкой алгоритмов и программ для предсказания пространственной структуры белков. С возрастанием количества данных уже давно стало невозможным вручную анализировать генетические последовательности. В наши дни для поиска по геномам тысяч организмов, состоящих из миллиардов пар нуклеотидов, используются компьютерные программы;

- исследованием стратегий, соответствующих вычислительных методологий, а также общим управлением информационной сложности биологических систем [145].

По сути, биоинформатика – это составляющая часть биокибернетики. Биоинформатика фокусируется на создании и применении интенсивных вычислительных методов для достижения понимания биологических процессов.

5.6. Нейрокибернетика

Нейрокибернетика (кибернетика нервной системы) – наука, изучающая процессы управления и связи в нервной системе.

Достижения нейрокибернетики в СССР и России значительны и разнообразны. Например, среди задач, в решении которых в последнее время в Институте нейрокибернетики им. А.Б. Когана Ростовского госуниверситета получены важные результаты:

- алгоритмы и детали механизмов распознавания полутонных изображений человеком и животными, системы технического зрения;

- устройства и методы анализа электрического поля мозга человека;

- метод и устройство электрической стимуляции кожи века, излечивающие ряд заболеваний, связанных с частичной атрофией сетчатки и зрительного нерва;

- программные и аппаратные модели нейронных сетей и процессов обучения в них;

- выявление отдельных деталей нейронных механизмов памяти и анализа сенсорных сигналов;

- анализ механизмов и функций сна и гипнотических состояний, межполушарной асимметрии;
- разработка методов и приборов психофизиологического тестирования и диагностики оптимальных профессиональных склонностей.

5.7. И.И. Шмальгаузен



И.И. Шмальгаузен

Иван Иванович Шмальгаузен (1884–1963) – основоположник биологической кибернетики (биокибернетики), выдающийся советский зоолог, эволюционист, эволюционный генетик, автор теории стабилизирующего отбора. Академик АН УССР (1922) и АН СССР (1935). Закончил физико-математический факультет Университета Святого Владимира в Киеве.

В 1939–1948 годах работал профессором Московского университета, заведовал созданной им кафедрой дарвинизма.

Во время печально известной сессии ВАСХНИЛ 1948 года, на которой осуждалась как научное направление генетика, отказался признать свои «ошибки». Не был, однако, репрессирован, но его главные книги были изъяты из библиотек и уничтожены.

В 1950-е годы И.И. Шмальгаузен воспринял идеи кибернетики и стал рассматривать эволюцию с кибернетической точки зрения. Свои взгляды на эволюцию изложил в разных статьях и выступлениях, которые были суммированы в посмертно вышедшей книге «Кибернетические вопросы биологии» (1968).

Глава 6

Медицинская кибернетика

Задача лечения болезней чисто кибернетическая: управление больным организмом с целью восстановления нормы.

Н.М. Амосов

Медицинская кибернетика изучает медицинские системы и методы управления состоянием организма. Развитие медицинской кибернетики направлено на разработку средств, существенно помогающих врачу и увеличивающих его логические и творческие возможности.

Важную роль в становлении биологической и медицинской кибернетики в СССР сыграли В.В. Ларин и Н.М. Амосов.

Кибернетика в медицине проявлялась в форме внедрения в медицинских учреждениях *автоматизированных медицинских систем*.

В 1970 году в НИИ социальной гигиены и организации здравоохранения им. Н.А. Семашко были созданы первые в СССР автоматизированные медицинские системы *управления*. С 1980-х годов кибернетические методы, или, как сейчас гово-

рят, информационные технологии в медицине и здравоохранении, получают все большее распространение. Появляются автоматизированные центры диагностики, системы диспансеризации и медицинских осмотров населения. В крупных больницах создаются автоматизированные системы обработки медицинских данных, осуществляется компьютерный учет коечного фонда, в приемных отделениях журнал приема больных ведется с помощью ЭВМ.

Все это стало возможным благодаря тому, что были изобретены дешевые малогабаритные компьютеры, по мощности сравнимые с ЭВМ, занимавшие до появления в 1980-е годы персональных компьютеров огромные площади и стоившие больших денег, и повсеместное обучение работе на которых велось еще в средней школе.

Медицинские автоматизированные системы можно разбить на три группы:

- автоматизированные системы управления работой медицинского учреждения;
- автоматизированные диагностические системы;
- информационные системы диспансерного наблюдения пациентов.

6.1. Медицинские автоматизированные системы управления

Важнейшей задачей медицинской кибернетики является организация автоматизированного управления работой медицинского учреждения (больницы, поликлиники). Это предполагает создание электронной базы данных о состоянии здоровья каждого пациента, находящегося на лечении (операции), а также базы данных о назначениях врача.

В 1972 году в рамках системы АСУ «Больница» была принята в эксплуатацию первая в СССР АСУ медицинского назначения «Аптека», в 1973 году была разработана автоматизированная (мониторно-компьютерная) система «Симфония»

для использования в клинике с целью слежения за состоянием больного во время хирургической операции, в 1974 году – автоматизированная система обеспечения решений врача АСОРВ и т. д.

С 2011 года в Новокузнецке действует автоматизированная система управления скорой медицинской помощью МИСС-03, фиксирующая время выезда бригады скорой помощи и прибытия к больному, транспортировки и освобождения, диагноз, возраст, пол, место выезда, причину вызова, обобщенную информацию о диагнозах, устанавливаемых бригадами, и др. Посредством телекардиографов Valenta, позволяющих не только регистрировать ЭКГ у постели больного, но и передавать информацию в консультационный центр для анализа и получения заключения от специалиста, были значительно повышены диагностические возможности фельдшерских выездных бригад и линейных бригад скорой медицинской помощи.

6.2. Компьютерное моделирование в стоматологии

Вычислительная техника позволяет прогнозировать результаты лечения до того, как оно будет применено к живым пациентам. Продемонстрируем это на примере ортопедической стоматологии.

Многие повреждения зубов устраняются в ходе лечения, проводимого стоматологами-ортопедами. Чаще всего выбор метода лечения основан на результатах практики стоматологов, с которой стоматолог знакомится на этапе обучения, а со временем – на собственном приобретенном опыте.

Управлять лечением – значит уметь прогнозировать последствия выбранного метода лечения. Современная компьютерная техника предоставляет в распоряжение стоматологов возможность проведения компьютерного моделирования, которое заранее может продемонстрировать, что ожидает больного, если будет проведена та или иная манипуляция с его

зубом (зубами).

Существуют различные компьютерные программы, с помощью которых производится моделирование объектов на основе метода конечных элементов. Одними из новейших компьютерных программ являются пакеты прикладных программ COSMOS/M (Structural Research and Analysis Co, Santa Monica, USA) и COSMOS Work.

Пакет программ COSMOS/M позволяет автоматически осуществить расчет напряжений и деформаций любой модели зуба, построенной специалистом. Для выполнения этих расчетов в базу данных программы достаточно ввести свойства материалов, из которых составлен моделируемый объект. Как результат, на модели видны все слабые места, в которых появляется риск разрушений при динамических нагрузках (жевание, разгрызание орехов и т.д.) (см. рис. 6.1)

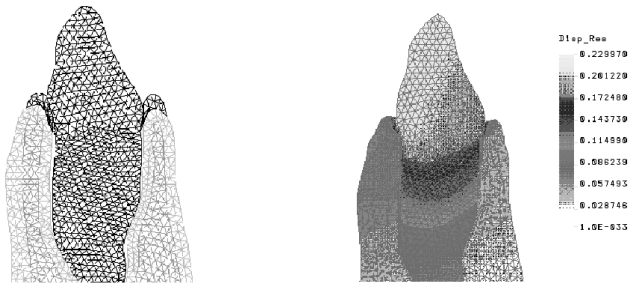


Рис. 6.1. Слева: плоская конечно-элементная модель зуба. Справа: поле суммарных перемещений при действии вертикальной силы [119]

В России одними из первых работы по компьютерному моделированию в ортопедической стоматологии начали в Иркутске В.А. Воробьев (1996, [28]) и в Омске В.М. Семенюк (Омск, ОмГМА), А.К. Гуц (ОмГУ) и др. (1995, [45, 46]). На Украине первым был А.Н. Чуйко (2000, [119]).

В своей первой работе [45] в 1995 году омские ученые в области компьютерного моделирования в ортопедической стоматологии доказали, что разрушенные ниже уровня десны на $1/4$

длины корни фронтальных зубов могут быть использованы в клинической стоматологии. Это позволило отказаться от рекомендации лечащим врачам проводить удаление корня зуба, если он разрушен ниже уровня десны. Более того, с помощью компьютерного моделирования было показано, что штифтовые конструкции можно усовершенствовать с помощью особого «воротничка», который повышает их надежность [46]. Опираясь на результаты благополучного компьютерного прогноза, ученые Омской медицинской академии дали студентам-стоматологам и практикующим врачам соответствующие рекомендации [47].

6.3. Медицинские диагностические системы

Медицинские диагностические автоматизированные системы необходимы для быстрой квалифицированной постановки диагноза на основе поступившей информации от больного, достигаемой за счет использования вычислительной техники.

Первая в СССР диагностическая система на основе ЭВМ была создана в 1964 году в лаборатории кибернетики Института хирургии им. А.В. Вишневского. Эта система автоматически устанавливала диагноз врожденных пороков сердца. В 1969 году в Институте сердечно-сосудистой хирургии им. А.Н. Бакулева была разработана система автоматической диагностики поражения клапанов сердца.

Современные медицинские диагностические программы сумели достигнуть уровня опытного врача в нескольких областях медицины.

В 1994 году Институтом программных систем РАН и Медицинским центром Банка России было принято решение о совместной разработке интегрированной распределенной информационной медицинской системы. Теоретические исследования и практические разработки привели к созданию технологии построения медицинской информационной системы

(МИС), включающей комплекс инструментальных средств, технологических решений и методик создания интегрированных информационных систем лечебно-профилактических учреждений, которая получила название «Технология Интерин».

Первая прикладная МИС, созданная с использованием технологии Интерин и получившая название Автоматизированной системы управления лечебно-диагностическим процессом МЦ БР – «ИНТЕРИН», была установлена в Медицинском центре Банка России в 1996 году. С этого времени система находится в промышленной эксплуатации.

6.4. Медицинские информационные системы диспансерного наблюдения

Оснащение вычислительной техникой клиник здравоохранения позволяет легко решать проблемы, с которыми ранее медицина не справлялась, что приводило либо к повышенной смертности среди определенной категории больных, либо к повторению тяжелого заболевания.

Современная система диспансерного наблюдения пациентов нуждается в системе автоматизированного управления, которая позволяла бы постоянно следить за состоянием здоровья определенных категорий больных и своевременно направлять их к врачу, а самим больным иметь оперативную связь с лечащим врачом.

6.4.1. Система диспансерного наблюдения пациентов, перенесших инфаркт миокарда

В Омской государственной медицинской академии совместно с кафедрой кибернетики ОмГУ создается система диспан-

серного наблюдения пациентов, перенесших инфаркт миокарда [50].

Проблема состоит в том, что 30% пациентов, которые перенесли инфаркт миокарда, переносят его вновь в течение ближайших пяти лет вследствие неудовлетворительного амбулаторного и диспансерного наблюдения.

Причины столь печального обстоятельства самые разнообразные: это и занятость участкового врача, и частая смена участковых врачей и сестер, включая не только увольнение, но и отпуск, повышение квалификации; наконец, это связано с тем, что не каждый пациент пойдет в поликлинику, если его не пригласить на прием. Решением данной проблемы является создание информационных систем, направленных на извлечение статистической информации о пациентах, состоящих на диспансерном учете. Иначе говоря, требуется создать специализированный программный комплекс, представляющий собой информационно-аналитический модуль долгосрочного диспансерного наблюдения пациентов, перенесших инфаркт миокарда (ИАМ ПИКС).

ИАМ ПИКС должен позволить решать следующие задачи:

- получать доступ к данным пациента, независимо от их участковой принадлежности;
- вносить, изменять и анализировать данные клинической картины коронарной болезни сердца, истории заболевания, проводимого лечения в реальном времени;
- отслеживать сроки и качество выполнения рекомендаций врача;
- вызывать пациентов на прием путем автоматизированной отсылки пациентам смс- и e-mail-сообщений в соответствии с установленными участковым врачом сроками;
- на основании введенных результатов лабораторно-инструментального обследования сигнализировать участковому врачу об отправке пациенту сообщения о сроках и объеме очередного обследования и явки к врачу;
- отображать на экране список пациентов, прошедших и не прошедших необходимое обследование.

Идея разработки такого программного комплекса принадлежит сотрудникам кафедры пропедевтики внутренних болезней Омской государственной медицинской академии. Потребителем ИАМ ПИКС в соответствии с их планами будут бюджетные и частные учреждения Омской области, занимающиеся оказанием медицинских услуг по реабилитации и диспансерному наблюдению пациентов, перенесших инфаркт миокарда.

Основная цель данного описанного проекта – сокращение смертности постинфарктных больных и полная замена карты больного электронной картой пациента, вследствие чего произойдет экономия средств и времени, потраченных на заполнение бумажных карт.

Выбор программных средств разработки системы обуславливается следующим обстоятельством.

В связи с ростом популярности веб-технологий, простотой и удобством их использования, а также необходимостью предоставления удаленного доступа к программному модулю ИАМ ПИКС был создан как веб-приложение. Программный комплекс ИАМ ПИКС разработан на основе современного и популярного php-framework CakePhp с применением новейших технологий в сфере веб-индустрии php, mysql, html, css, javascript, json.

Для того чтобы сделать комплекс привлекательным не только для кардиологов, архитектура программы спланирована таким образом, что она охватывает не только область кардиологии, но и любое другое направление медицины, т. е. предусмотрена ее масштабируемость и универсальность.

При разработке информационной системы решались следующие задачи:

1. Создание базы данных в клинических исследованиях:

- закупка реактивов для исследования агрегационной активности тромбоцитов и липидного спектра крови;
- приобретение вегетотестера ВНС-микро для исследования вариабельности сердечного ритма и

анализа наличия жизнеугрожающих нарушений сердечного ритма.

2. Реализация автоматического создания учетной записи пациента при добавлении его карточки врачом. Пациенту предоставляется возможность в режиме онлайн, через Интернет, видеть в аналитическом модуле данные своего лечения и результатов обследования, а также сроки явки на анализы и на прием к врачу.

3. Возможность добавлений, редактирования карточки пациента.

4. Реализация удобного поиска пациента с автозаполнением. Реализация загрузки в программу результатов обследования, прогнозирования на основе статистических данных и анализа показателей пациентов.

5. Создание системы автоматического напоминания врачам о пациентах, которые нуждаются в приеме по диспансерному наблюдению или в срочном порядке в случае занижения/завышения параметров лабораторных исследований.

6. Реализация системы автоматического уведомления пациентов посредством рассылки смс- и e-mail-сообщений.

7. Реализация сбора статистики и соответствующей аналитики. Получение широкого спектра аналитических данных: статистики количества мужчин и женщин, разделение их по районам обслуживания участковыми врачами, статистики приема препаратов.

8. Возможность расширения списка и значений параметров, показателей, направлений лечения.

9. Организация вывода на экран карточки пациента.

10. Постоянное отслеживание состояния пациента без привязки его к конкретному врачу.

11. Обеспечение возможности составления плана лечения на год и более, поддержанное уведомлениями как врача, так и пациента за месяц до приема.

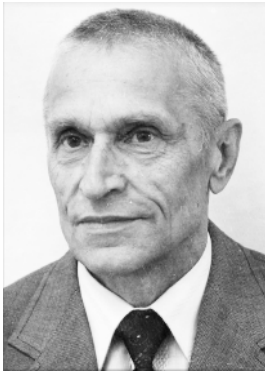
12. Составление руководства для пользователя системой.

13. Обеспечение высокой безопасности от взлома программы злоумышленниками.

14. Система подсчитывает денежные затраты клиники по рассылке смс- и e-mail-сообщений и информирует об израсходованных средствах соответствующую службу клиники.

Хотя различные АСУ внедряются в медицину с 1970-х годов, представленный модуль создан с целью более тесного взаимодействия клиники и пациента без привязки пациента к конкретному врачу. Это повышает как шансы больного на проведение своевременного лечения, так ответственность клиники за здоровье пациента.

6.5. Н.М. Амосов



Н.М. Амосов

Николай Михайлович Амосов – известный в СССР в середине XX века хирург и писатель¹. Является одним из основателей биокибернетики и медицинской кибернетики в СССР.

В 1939 году окончил Архангельский медицинский институт. В 1947–1952 годах заведовал отделением Брянской областной больницы. Был главным хирургом Брянской области. С 1952 года – директор клиники Украинского НИИ туберкулеза и грудной хирургии, а с 1960 года возглавлял в Институте кибернетики АН УССР отдел биокибернетики с момента его создания. В область исследований отдела входили и задачи, относящиеся к медицинской кибернетике.

Медицинская кибернетика на Украине началась с создания компьютерных программ для диагностики болезней. Проводились работы по математическому моделированию физиологии

¹ В литературе Н.М. Амосов прославился на весь мир повестью «Мысли и сердце», по которой был снят художественный фильм «Степень риска» с участием известных актеров – Б. Ливанова, И. Смоктуновского, А. Демидовой и др.

ческих органов и систем с учетом возможностей человека и использованием вычислительной техники и теории управления. Под руководством Н.М. Амосова были проведены фундаментальные клиничко-физиологические исследования системы саморегуляции сердца. Полученные результаты помогли создать несколько аппаратов искусственного кровообращения.

Н.М. Амосов проявлял большой интерес к социкибернетике, задумывался об общественном устройстве и взаимосвязи человека и общества.

В 1980-е годы интерес в СССР к кибернетике как универсальной науке, способной быстро разрешить проблемы в развитии советского общества, экономики, стал падать, кибернетика начала дифференцироваться и распадаться на множество других наук. Этот период отражен в следующих размышлениях выдающегося хирурга: «Модели общества никому не нужны, искусственный интеллект такой, как я хочу – в сфере мечтаний. Мои помощники норовят приземлить идею, нацелились на роботов, на распознавание образов. Так и пришел обратно, в клинику. О кибернетике и моделях не вспоминал. Разве можно их сравнить с хирургией, с жизнями людей?»

Глава 7

Экологическая кибернетика

Кибернетика... является «теорией машин», но она говорит не о вещах, а о *способах поведения*.

У. Эшби. Введение в кибернетику

Экологическую кибернетику рассмотрим на примере лесных экосистем. Управление лесами, их использование, сохранение и восстановление являются важнейшими задачами, которые стоят перед региональными властями, правительством каждой отдельной страны и мировым сообществом в целом.

В 1961 году В.Д. Александрова публикует статью «Растительное сообщество в свете некоторых идей кибернетики» [2], где она впервые в советской геоботанике разбирает вопрос о прямых и обратных связях в фитоценозе. В 1964 году в своей новой книге «Основы лесной биогеоценологии» она написала раздел о возможности применения идей и методов кибернетики в биогеоценологии, где отмечала, что в биогеоценозе идут процессы регуляции, которые позволяют рассматривать его как кибернетическую систему.

Идеи кибернетики не остались без внимания видного

ученого-лесоведа В.Г. Нестерова. В своем научном творчестве В.Г. Нестеров развивал биоэкологическое учение о лесе и биоэкономические направления с привлечением кибернетических методов теории операций и принятия оптимальных решений. В 1962 году он опубликовал небольшую монографию под названием «Кибернетика живой природы», в которой впервые были изложены методы программирования целевой породной структуры лесов.

В 1960-1970-е годы, когда кибернетика в СССР набирала силу и находилась в поле всеобщего внимания, немало говорилось и писалось об информационных процессах в экологических системах, в частности в растительности. Однако общие философско-теоретические рассуждения не привели к тому, что было бы полезным и практически значимым для фитоценологии. В начале XXI века мы можем наблюдать новые попытки использовать кибернетический подход к изучению лесных экосистем. Несомненно, кибернетический аспект наблюдается в исследованиях, изучающих закономерности саморегулирования экосистемы на принципах прямых и обратных положительных и отрицательных связей, обуславливающих ее гомеостаз¹.

7.1. Экологические системы

Экологическая система (экосистема, биогеоценоз) – это сообщество организмов вместе с окружающей их абиотической средой (почвой, атмосферой и т. п.) [52].

Причем *сообщество* – это группа организмов различных видов, проживающих на общей территории и взаимодействующих между собой.

¹ *Гомеостаз экосистемы* – динамическое равновесие природной (экологической) системы, поддерживаемое регуляторным возобновлением основных ее компонентов и элементов и постоянной саморегуляцией во всех ее звеньях, применительно к живому (в том числе человеческому) организму. В экологии эта концепция развита Ф. Клементсом (Экологический энциклопедический словарь).

Лесную экосистему можно считать открытой *кибернетической системой*, поскольку она обладает свойством *саморегуляции*, т. е. управлением с прямыми и обратными связями, осуществляемыми самой лесной экосистемой.

7.2. Информационные потоки и каналы лесного биоценоза

Лесной биоценоз – это система, состоящая из трех взаимосвязанных подсистем: растительности (фитоценоз), животных (зооценоз) и микроорганизмов (микроценоз).

Экосистема как единое целое существует благодаря характерным для него связям между подсистемами. Взгляд на биоценоз как на кибернетическую систему требует выявить механизм хранения и передачи информации, а также каналы передачи информации в лесной экосистеме (см. рис. 7.1).

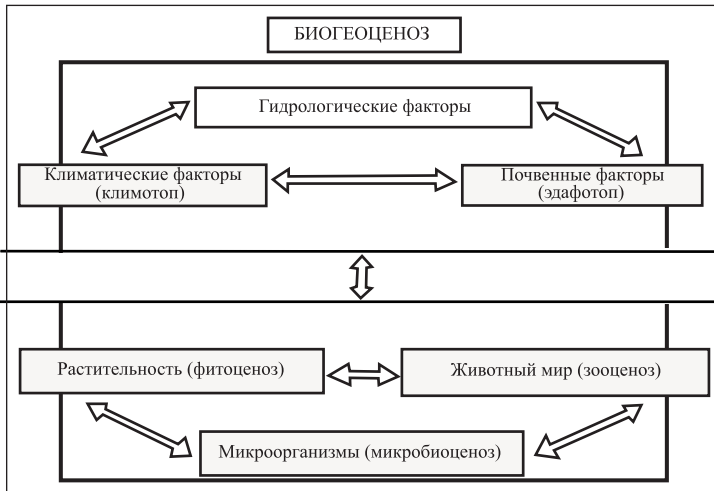


Рис. 7.1. Схема биогеоценоза (экосистемы) (В.Н. Сукачев) (стрелки на рисунке обозначают взаимосвязь подсистем (компонентов) биогеоценоза и означают каналы передачи информации между различными подсистемами (компонентами)) [79]

Э. Лекавичус (1986) говорит о наличии двух каналов передачи информации в биоценозе. Один из них обеспечивает устойчивое существование и репродукцию популяций конкретных видов – *селфинг*. Селфинг – это самоорганизация конкретного вида, конкретной подсистемы (компоненты), использующая резервы всей экосистемы. Второй канал связывает биоценоз как целое с его подсистемами (компонентами) и именуется *координацией* [73].

Прежде всего проясним, что мы понимаем под термином «информация» применительно к изучению лесных экосистем.

7.3. Понятие информации

От одной подсистемы (компоненты) экосистемы к другой передается некая *структура*. Эта структура может быть различной по форме, организации, содержанию и т. д. Это различие характеризует саму несущую его структуру и позволяет отличить от множества других структур, оно и есть *информация*, содержащаяся в переданной структуре. Следовательно, полученная при передаче отличная от других структура позволяет получателю отреагировать именно тем способом, который и предполагался при посылке именно такой структуры, т. е. именно такой информации.

Механизм действия информации состоит в уменьшении априорной неопределенности в процессе функционирования экосистемы. Если до получения сообщения имелось N вариантов поведения системы, то после получения число вариантов «принятия решения» уменьшилось.

С точки зрения математики структура – это набор некоторых *элементов*, между которыми фиксируются *отношения*. Этот набор отношений составляет *код*, с помощью которого посредством конкретных фиксированных отношений *кодируется* информация.

Передаваемая структура предполагает наличие *носителя* информации. Каковы носители информации и как они передаются в лесных экосистемах? Другими словами, каковы те

элементы, из которых состоит структура?

7.3.1. Носители информации в растениях

Носителями информации, приходящей к растению из окружающей внешней среды, могут выступать все известные для биологических объектов каналы связи: химический (метаболиты, аттрактанты и др.), оптические (зрительный образ, фотопериод), механические колебания среды обитания, электромагнитные волны (Зеликман, 1977, [56]). Связь растений со средой может осуществляться посредством фотосинтеза, поглощения воды и минеральных элементов питания из почвы, дыхания, транспирации и т. д.

Потоки информации в экосистемах могут быть определены, например, по потокам фосфора. «Соединения фосфора, фосфолипиды участвуют в клеточных мембранах, регулируя потоки, в том числе и информации. При отщеплении фосфат-иона от макроэнергетической связи происходит не только передача энергии, но и передача информации объемом в 1 бит. Последовательность реакций – это канал связи, а отщепление фосфат-иона – сигнал в 1 бит, передающийся по этому каналу» [21, с. 120].

7.3.2. Носители информации в фитоценозах

Информационные процессы в организации растительных сообществ не изучены сколько-нибудь удовлетворительно. Тем не менее представляет интерес то, как отдельные биологи описывают фитоценоз с информационной точки зрения.

Как и всякая живая (открытая) система, фитоценоз должен быть открытым для обмена веществом или информацией с окружающей средой. В чем может обнаружить себя функция связи фитоценоза со средой?

По мнению А.Н. Прилуцкого (2007), фитоценоз – это информационная система, которая является объектом внепроектным. Функция связи организованного таким образом объекта может проявляться только во времени, т. е. иметь

периодический характер. И если для растений периодические ритмы, определяющие акты обмена информацией – это трансляция генетической информации, деление клеток, рост растений, сезонный ритм их развития и прочие функции, то для фитоценоза акт обмена информацией состоит в периодической смене эдификатора². Сигнал среды, приведший к замене старого эдификатора на новый, запускает механизм смены структуры фитоценоза, меняет пространственное распределение лесного сообщества. «Растительные системы – это материальные структуры, способные извлекать из окружающей среды информацию в форме ритмических колебаний градиентов экологических факторов среды, освобождать ее от вещества и энергии и включать в свой наследственный информационный стереотип...» [94, с. 18, 22].

В этом плане такие управляющие фитоценозом факторы, как ярусность, мозаичность, конкуренция [48] – это факторы, значения которых считываются с сообщения внешней среды, дающего команду на замену эдификатора. Два других управляющих фактора – влажность почвы и антропогенное воздействие – связаны со стохастическим механизмом реализации актуальной информации, служащим для выработки реакций в непредсказуемых ситуациях, угрожающих фитоценозу экологической катастрофой.

Пространственные ряды фитоценозов³ отражают поле развития (аттракторы) любого и каждого сообщества, находящегося в тождественных условиях среды (в том же ландшафте). «Память», т. е. сохраняемая информация о прошлых выборах системы в точках бифуркаций, вызванных катастрофами, память о сериях сукцессионного развития запечатлена в конкретных информационных «носителях» сообществ: качественном и численном соотношении видов, почвенных харак-

² *Эдификатор* – вид растений с сильно выраженной средообразующей способностью, т. е. определяющий строение и в известной степени видовой состав растительного сообщества – фитоценоза.

³ *Пространственный ряд фитоценозов* – последовательность фитоценозов, в которых последние располагаются в пространстве в том порядке, в каком они сменяют друг друга во времени в ходе какого-либо процесса.

теристиках (Гижицкая, 2000, [30]).

7.3.3. Специфика кибернетического описания леса

Традиционное для естествознания выделение энергетических связей в случае кибернетических моделей леса заменяется на исследование связей влияния, зависимости одних подсистем (компонентов) лесной экосистемы от других. «В одних случаях эти связи будут совпадать, в других – нет. Построение кибернетических моделей позволяет выделять взаимодействующие элементы разного ранга (подсистемы, или блоки), выявлять регулирующие обратные связи, количественно оценивать мощности связи и влияния и т. п.» [81, с. 52].

Первая в СССР статья, представляющая лесной биогеоценоз как кибернетическую систему, была написана в 1961 году В.Д. Александровой [2, 3]. Она продемонстрировала то, что считается важным в кибернетике – наличие обратных связей внутри лесного биогеоценоза, регулирующих видовой состав, структуру и продуктивность его растительного компонента. Простым примером обратной связи является усиление роста затенённых растений при гибели или уменьшении роста лидирующих растений верхнего яруса.

7.4. Игровая модель управления защитой лесов

Защита лесных насаждений является важной задачей лесных управлений регионов. Любое лесозащитное мероприятие требует финансовых вложений, и, естественно, соответствующие денежные инвестиции должны быть эффективно потрачены.

Лесозащитные мероприятия – это обширный перечень работ, которые должны быть проведены в определенные периоды времени года работниками региональных лесных управле-

ний в соответствии с разработанными и утвержденными региональными лесными планами.

Природа может приносить неожиданные сюрпризы, которые сводят на нет некоторые проведенные лесозащитные мероприятия, что следует рассматривать как напрасно потраченные деньги, т. е. как убытки, понесенные лесным управлением региона.

Естественно искать эффективные методы, которые способствовали бы оптимизации системы управления лесозащитными мероприятиями. Важно заранее спрогнозировать последствия принимаемых мер как с точки зрения их успешности, так и в случае когда они могут привести к катастрофическим ситуациям.

Теория игр предоставляет возможность заранее **проигрывать**, прогнозировать различные ситуации и находить наиболее оптимальные стратегии поведения в конфликтных ситуациях.

Если взглянуть на отношения Природы и Лесного управления с точки зрения теории игр, то убытки Лесного управления – это выигрыш игрока, именуемого «Природа» [49]. Сама игра с «природой» проходит в условиях неопределенности, т. е. отсутствия полной информации о стратегиях игрока «Природа» (см. § 3.4).

В игре Природы и Лесного управления у каждого из этих игроков можно перечислить разные стратегии поведения, в соответствии с которыми они делают свои ходы, означающие выигрыш Лесного управления, когда лесозащитное мероприятие было своевременным и деньги потрачены не зря, либо проигрыш, если Природа, «выбрав» свою стратегию, сделала ход, который нанес убыток лесной экосистеме.

7.4.1. Стратегии Природы

Неприятным сюрпризом для благополучного развития леса могут быть следующие ходы (стратегии) Природы:

Стратегия *L*_{пожары} – лесные пожары как следствие небрежности людей или засухи.

Стратегия $L_{\text{неблаг.пог.усл.}}$ – неблагоприятные погодные условия и почвенно-климатические факторы (малоснежная зима, засуха, ураганные ветры, изменение уровня грунтовых вод (переувлажнения почвы), заморозки и другие).

Стратегия $L_{\text{лесопат.}}$ – лесопатологические факторы, размножение вредных организмов и болезни леса.

Стратегия $L_{\text{антропоген.}}$ – антропогенные воздействия на лес. Хотя этот фактор порожден людьми, а не Природой, мы относим его к игроку «Природа», поскольку антропогенные воздействия человека на леса складываются из промышленных выбросов, вырубки лесов, распашки полей, истребления или переселения животных и растений, загрязнения воды, почвы и атмосферы. На момент их задействования, как правило, никаким образом не учитывалось их будущее отрицательное проявление в окружающих лесах.

Стратегия $L_{\text{непат.}}$ – непатогенные факторы, которые вызывают ослабление состояния деревьев, но не приводят насаждения к гибели. В эту группу факторов отнесены: межвидовая и внутривидовая конкуренция, затенения, охлест, ошмыг и другие.

Стратегия $L_{\text{жив.}}$ – повреждение (вытаптывание) растений животными.

7.4.2. Стратегии Лесного управления

Стратегии Лесного управления сведем к следующим мероприятиям:

- Стратегия** $LZ_{\text{пожар}}$ – противопожарные мероприятия:
- санитарная очистка леса (от усыхающих и сухостойных деревьев и кустарников, буреломов и скоплений сухих веток);
 - создание противопожарных барьеров – разделение лесных массивов, препятствующее распространению огня;
 - создание противопожарных водоемов в местах, очень опасных в пожарном отношении.

Стратегия $LZ_{\text{защ.леса}}$ – защита лесов от вредных организмов:

- лесопатологические обследования, повышение оперативности выявления и качества диагностики неблагоприятных лесопатологических факторов в процессе лесопатологического мониторинга;

- своевременное и качественное проведение санитарно-оздоровительных мероприятий;

- повышение эффективности мероприятий по локализации и ликвидации очагов массового размножения вредных организмов.

Стратегия $LZ_{уход за лесом}$ – санитарно-оздоровительные мероприятия (сплошные санитарные рубки, выборочные санитарные рубки, уборка от захламленности).

Стратегия $LZ_{лесовосст.}$ – воспроизводство лесных ресурсов в многолесных районах и лесоразведение, лесовосстановление, повышение до оптимального уровня лесистости в малолесных районах и безлесных районах региона.

Стратегия LZ_a – снижение антропогенных воздействий:

- установка очистительных фильтров, строительство очистительных сооружений;

- совершенствования технологий производства;

- проведение санитарно-оздоровительных мероприятий.

7.4.3. Пример игры. Белозерское лесничество

В работе [49] был рассмотрен теоретико-игровой подход организации защиты леса в Белозерском лесничестве Курганской области. Использовались биматричные игры с реальными статьями финансирования лесозащитных мероприятий и вычислялись в качестве оптимальных стратегий равновесия Нэша.

В исследованном примере все стратегии Лесного управления были чистыми, а стратегии Природы – смешанными. Это можно объяснить тем, что деньги в лесничество по всем пунктам (по всем стратегиям) поступали не сразу, а перечислялись поэтапно, в разные календарные сроки; после поступления де-

нег лесничество и реализовало соответствующую стратегию. Природа, напротив, создает критические ситуации не поэтапно, а стихийно, и часто это одновременно и вредители, и антропогенные воздействия, и подтопления лесов (или засуха). Отсюда повсеместное задействование смешанных стратегий.

Наиболее интересной партией было обнаружение равновесия, в котором Природа создала условия для пожара, а Лесное управление, как оказалось, своевременно подготовилось к борьбе с ним. Был оценен также ущерб от лесных пожаров, если бы противопожарные мероприятия не были своевременно осуществлены из-за отсутствия денег в лесничестве.

7.5. В.Г. Нестеров



В.Г. Нестеров

Нестеров Валентин Григорьевич (1909–1977) – ученый в области лесоводства и агролесомелиорации, автор учения о биоэкозе, позволившего решать важные вопросы лесного и сельского хозяйства на ЭВМ в оптимальной форме. Автор книг «Кибернетика живой природы» (1962) и «Вопросы управления природой». Разработал «шкалу Нестерова», по которой Гидрометцентр осуществляет прогнозы пожаров.

Заведующий кафедрой лесоводства Московского лесотехнического института (1948–1951), заведующий кафедрой лесоводства Московской сельскохозяйственной академии им. К.А. Тимирязева (1953–1977) и заведующий лабораторией кибернетики живой природы.

Глава 8

Экономическая кибернетика

Весьма трудно управлять, если
делать это добросовестно.

Наполеон Бонапарт

Экономическая кибернетика занимается проблемами оптимизации управления экономикой в целом, ее отдельными отраслями, экономическими районами, промышленными комплексами, предприятиями и т. д.

В экономике, в отличие от техники, отсутствует четкая, однозначная связь между решением и результатом. В управляющую систему по каналам обратных связей в экономике чаще всего поступает неполная, нечеткая и искаженная информация о результатах управления [72, с. 5]. Поэтому экономика, ее отрасли и предприятия как кибернетические системы чрезвычайно сложны не только для организации управления ими, но и для построения адекватных моделей.

Информация, необходимая для функционирования и управления экономическими системами, разнообразна и обширна. Ее сбор, обработка и использование требуют привлечения

мощных вычислительных ресурсов.

Экономическая кибернетика является разделом кибернетики, которая до сегодняшнего дня сохраняет в экономической науке свой статус и свое название. Курсы и учебники под названием «Экономическая кибернетика» читаются и издаются в настоящее время в российских университетах. Во многом это связано с тем, что в экономике одной из важнейших является идея нахождения оптимального управления предприятием, отраслью и, наконец, экономикой страны. Не случайно наука «Теория игр», показывающая как оптимально разрешать конфликтные ситуации, возникла благодаря экономической науке и впервые была изложена в книге под названием «Теория игр и экономическое поведение» (Дж. фон Нейман и О. Моргенштерн). Почти все математики, получившие нобелевскую премию по экономике, были специалистами в области теории игр; эта теория излагается студентам-экономистам.

8.1. Экономические системы

Экономическая система состоит из подсистем, характеризующих производство, распределение, обмен и потребление материальных благ. Каждая подсистема описывается набором параметров, и свой набор параметров имеют связи между подсистемами.

Функционирование экономических систем предполагает их оценку по множеству критериев. Перед теми, кто осуществляет управление, одновременно является достижение нескольких целей, подчас противоречащих одна другой. Необходимо добиться максимальной прибыли и выпуска продукции в натуральном или стоимостном выражении, выдержать затребованную потребителем номенклатуру или ассортимент, уровень качества продукции, минимизировать (снизить) удельную себестоимость и т. д. [70, с. 46].

При кибернетическом подходе в изучении экономических систем решаются задачи *построения оптимизационных моделей* развития соответствующей экономики (экономической си-

стемы), которые очень часто являются задачами нахождения оптимального управления, принятия оптимального решения, задачами линейного или динамического программирования.

Таким образом, кибернетический подход к экономике означает широкое применение математических методов.

8.2. Экономическая информация

Экономическая информация – это та информация, т. е. те сведения и данные, которые возникают при подготовке экономической деятельности, в самом процессе экономической деятельности и используются для управления этой деятельностью.

«Экономическая информация включает в себя сведения о трудовых, материальных и финансовых ресурсах, о состоянии объектов управления на определенный момент времени. Экономическая информация отражает деятельность фирм (предприятий, организаций) посредством натуральных, стоимостных и других показателей.

К экономической информации на уровне предприятий относятся:

- экономические характеристики предприятия;
- технические характеристики средств производства (в первую очередь основные фонды, оборудования);
- сведения о кадровом составе (трудовые ресурсы);
- сведения о наличии и потребностях в ресурсах;
- описание технологий и условий производства;
- рыночная конъюнктура (цены, объёмы, спрос);
- сведения об оборотных средствах;
- нормативы и плановые задания;
- совокупность расчетных показателей (фондоёмкость, рентабельность, себестоимость);
- различные приказы, инструкции, методики.

Для экономической информации характерны:

- большие объёмы;

- многократное повторение циклов ее получения и преобразования в установленные временные периоды (месяц, квартал, год и так далее);
- многообразие ее источников и потребителей;
- значительный удельный вес логических операций при её обработке;
- относительно малый вес вычислительных операций» [72].

При построении моделей экономической деятельности предприятия с целью нахождения оптимального управления производством, естественно, необходимо учитывать перечисленную экономическую информацию.

8.3. Оптимизация управления многоотраслевой экономикой

Рассмотрим экономику, представленную N отраслями, каждая из которых описывается отраслевым уравнением воспроизводства основных фондов F_i в предположении, что инвестиции в i -ю отрасль полностью расходуются на прирост основных фондов и амортизационные отчисления:

$$\begin{aligned} \frac{dF_i}{dt} &= I_i - \mu_i F_i, \quad (i = 1, \dots, N), \\ F_i(0) &= F_i^0, \end{aligned} \quad (8.1)$$

где

I_i – интенсивность инвестиций;

μ_i – коэффициент амортизационных отчислений.

Межотраслевые связи задаются балансовыми соотношениями:

$$X_i = \sum_{j=1}^N a_i^j X_j + Y_i, \quad (8.2)$$

$$Y_i = \sum_{j=1}^N b_i^j I_j + C_i, \quad (8.3)$$

где

X_i – валовая¹ продукция i -й отрасли;

Y_i – конечный² продукт i -й отрасли;

C_i – непроедственное³ потребление i -й отрасли;

$\|a_i^j\|$ – матрица коэффициентов прямых затрат;

$\|b_i^j\|$ – матрица структуры фондов.

Развитие отраслей происходит при следующих ограничениях:

$$0 \leq X_i \leq \alpha_i(t, F_i, L_i), \quad (8.4)$$

$$\sum_{i=1}^N L_i \leq L^0, \quad (8.5)$$

$$I_i \geq 0, \quad C_i \geq 0, \quad F_i \geq 0, \quad (8.6)$$

где L_i – трудовые ресурсы i -й отрасли.

Рассматривается оптимизационный критерий

$$J[\nu(t)] = \int_0^{+\infty} g(t, C) r^{-\delta t} dt,$$

$$\nu(t) = (F(t), I(t), X(t), Y(t), C(t), L(t)) \in \mathbb{R}^{6N},$$

где

δ – коэффициент дисконтирования;

$g(t, C)$ – вогнутая функция полезности, задаваемая в каждом конкретном исследовании.

Управление отраслями оптимально, если

$$J[\nu(t)] \rightarrow \max \quad (8.7)$$

¹ *Валовая продукция* – исчисленный в денежном выражении суммарный объем продукции, произведенной в определенной отрасли.

² *Конечный продукт* – это товары и услуги, которые покупаются потребителями для конечного использования, а не для перепродажи или переработки.

³ *Непроедственное потребление* происходит за пределами производства. В его процессе произведенные продукты используются населением, предприятиями и организациями непроедственной сферы.

при условии выполнения условий (8.1)–(8.6). Другими словами, ищется набор функций $\nu(t)$, который удовлетворяет всем условиям (8.1)–(8.6) и дает максимум для функционала $J[\nu(t)]$, характеризующего непроизводственное потребление.

Описанная оптимизационная задача решается в математической кибернетике в рамках теории оптимального управления.

8.4. Транспортная задача

Пусть некоторый продукт, скажем, картофель (или мука, или арбузы и т.д.), хранится на m складах и требуется в N магазинах.

Имеется следующая информация:

a_i – запас продукта на i -м складе, $a_i > 0$, $i = 1, \dots, m$;

b_j – потребность в продукте в j -м магазине, $b_j > 0$, $j = 1, \dots, N$;

c_{ij} – стоимость перевозки единицы продукта с i -го склада в j -й магазин, $c_{ij} > 0$.

Считаем, что суммарные запасы равны суммарным потребностям:

$$\sum_{i=1}^m a_i = \sum_{j=1}^N b_j. \quad (8.8)$$

Пусть x_{ij} – количество продукта, перевозимого с i -го склада в j -й магазин.

Транспортная модель перевозки продукта имеет вид:

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \rightarrow \min \quad (8.9)$$

при ограничениях (8.8) и

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = a_i, \quad \sum_{i=1}^m x_{ij} = b_j, \quad x_{ij} > 0 \quad (i = \overline{1, m}, j = \overline{1, N}).$$

Иными словами, требуется организовать перевозки продукта со складов в магазины так, чтобы при полном удовлетворении потребностей заказчиков минимизировать суммарные транспортные расходы.

8.5. Л.В. Канторович

Леонид Витальевич Канторович (1912–1986) – советский математик и экономист, один из создателей линейного программирования. Лауреат Нобелевской премии по экономике 1975 года «За вклад в теорию оптимального распределения ресурсов».

Окончил в 1930 году физико-математический факультет Ленинградского государственного университета, затем аспирантуру.

В 1960 году переехал в Новосибирск, где был расположен самый передовой в СССР Вычислительный центр, а в Новосибирском университете существовало отделение экономической кибернетики. Возглавил отдел экономико-математических методов в Сибирском отделении АН СССР. Вместе со своими коллегами, экономистами-математиками В.В. Новожиловым и В.С. Немчиновым стал лауреатом Ленинской премии в 1965 году.

В 1971 году он становится руководителем лаборатории в Институте управления народным хозяйством в Москве.

Л.В. Канторович внедрил в СССР математические методы в народном хозяйстве страны. Положил начало линейному программированию и его обобщениям (1939–1940). Развил идею оптимальности в экономике. Установил взаимозависимость оптимальных цен и оптимальных производственных и управленческих решений.



Л.В. Канторович

Глава 9

Квантовая кибернетика

Квантовая теория привела к новой связи между энергией и информацией.

Н. Винер

Техническая кибернетика, создающая технические устройства управления различными системами, базируется на законах классической физики, которым подчиняется работа создаваемых устройств. Таковым является ЭВМ, компьютер, без которых немислимы современные автоматические и автоматизированные системы управления.

Однако окружающий нас Внешний мир починается законам квантовой физики и, естественно, именно она должна использоваться в конструировании вычислительных управляющих машин.

Теория квантового компьютера основывается на *квантовой механике*, созданной в 1920-е годы австрийцем Эрвином Шрёдингером и немцем Вернером Гейзенбергом.

Идея использовать квантовую механику для построения квантового компьютера была независимо высказана россиянином Юрием Маниным [77] и американцем Ричардом Фейнманом [108, 109].

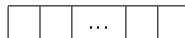
9.1. Архитектура квантового компьютера

Квантовый компьютер имеет архитектуру, аналогичную классическому компьютеру. Он состоит из:

- регистров памяти,
- процессора, построенного из логических элементов и производящего вычисления,
- устройства ввода информации,
- устройства вывода полученной в ходе вычислений информации.

9.2. Регистры

Память компьютера разбита на регистры. Регистры состоят из некоторого количества разрядов. Регистр из m разрядов изобразим как



(квадратик изображает разряд)

9.2.1. Бит и классический регистр

Классический разряд \square хранит единицу информации – *бит* информации – 0 или 1.

Запишем разряд в символическом виде

$$|n_k\rangle, \quad n_k = 0, 1.$$

Тогда классический регистр можно представить как

$$|n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle. \quad (9.1)$$

Для технической реализации бита используются разные физические устройства.

Пример 9.1. Высокий потенциал в точке схемы – 1, низкий – 0;

Пример 9.2. Ферромагнитное колечко намагничено в одном направлении – 1, в другом – 0.

Состояние классического регистра в момент времени t

Разряд классического регистра находится только в одном из двух возможных состояний – $|0\rangle$ или $|1\rangle$.

Поэтому состояние регистра – это

$$|n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle.$$

Например, состояние

$$|\underbrace{01001011100011\dots}_m\rangle$$

9.2.2. Кубит и квантовый регистр

Квантовый разряд \square хранит единицу информации – квантовый бит, или *кубит*, информации – 0 или 1.

Квантовый разряд в символическом виде выглядит так же, как классический:

$$|n_k\rangle, \quad n_k = 0, 1.$$

И поэтому квантовый регистр представляется в виде

$$|n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle. \quad (9.2)$$

Для технической реализации кубита предлагаются разные физические устройства, основой которых является любая двухуровневая (квантовомеханическая) система (спин, фотон, атом, молекула, ион).

Пример 9.3. Проекция спина атома (+1) принимается для кубита за состояние $|0\rangle$, а проекция (-1) – за состояние $|1\rangle$.

Состояние квантового регистра в момент времени t

Разряд квантового регистра находится в состоянии

$$\alpha|0\rangle + \beta|1\rangle, \quad \alpha, \beta \in \mathbb{C}.$$

Поэтому состояние квантового m -разрядного регистра – это *когерентная суперпозиция* всех *базисных состояний*:

$$|\psi(t)\rangle \equiv \sum_{n_{m-1}=0}^1 \sum_{n_{m-2}=0}^1 \dots \sum_{n_0=0}^1 c_{n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0} |n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle,$$

$$c_{n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0} \in \mathbb{C}.$$

Числа $|c_{n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0}|^2$ интерпретируются как вероятность пребывания регистра в состоянии $|n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle$.

Например, состояние

$$|\psi(t)\rangle \equiv c_1 \underbrace{|01001011100011\dots\rangle}_m +$$

$$+ c_2 \underbrace{|11001011100011\dots\rangle}_m + \dots$$

Пример 9.4. Берётся раствор молекул и помещается при комнатной температуре во внешнее магнитное поле. При этом атомные ядра, обладающие ядерным спином, т.е. являющиеся как бы маленькими магнитами, займут одно из двух положений – по полю $|0\rangle$ и против него $|1\rangle$.

Комментарий. Состояние 1-разрядного регистра квантового компьютера в момент времени t подобно одновременному пребыванию кота в живом и мёртвом состоянии:

$$|\text{живо-мёртвое}\rangle = \alpha |\text{живо}\rangle + \beta |\text{мёртвое}\rangle$$

Рис. 9.1. Живо-мёртвое состояние кота

Иначе говоря, в квантовом мире альтернативы могут существовать одновременно.

Впрочем, можно предположить, что квантовый компьютер находится сразу во множестве параллельных вселенных. В случае кота – в одной вселенной кот жив, а в другой – мёртв. Наблюдатель видит только того кота, в какой вселенной живет сам; параллельный, другой мир он не видит. Такой подход называется эвереттовской интерпретацией квантовой механики [42].

9.3. Процессор

Процессор компьютера служит для того, чтобы менять состояние регистров.

Делается это посредством физического воздействия на биты в классическом компьютере и на кубиты – в квантовом; в результате и те, и другие меняют свое состояние.

Пример 9.5. Если кубит представляет собой атом, то регистр – это квантовая система из m атомов. Воздействие на эту систему осуществляется с помощью специально подобранных импульсов лазеров. Лазерные импульсы влияют на электронные состояния атомов.

Лазерными импульсами управляет уже классический компьютер, входящий в состав того устройства, которое мы назвали квантовым компьютером.

9.3.1. Классический процессор

Процессор классического компьютера состоит из схем, собранных из логических элементов.

Логический элемент – это простейшее устройство ЭВМ, выполняющее одну определенную логическую операцию над входными сигналами согласно правилам алгебры логики.

Для логических элементов независимо от их физической реализации приняты дискретные значения входных и выходных сигналов; обычно это два уровня, которые условно принимаются за 0 и 1.

На рис. 9.2 изображен логический элемент «НЕ», который переводит 0 в 1 и 1 в 0.

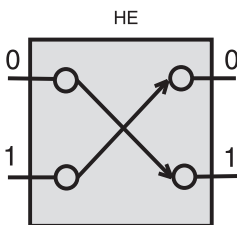


Рис. 9.2. Логический элемент «НЕ»

Логические элементы – это технические устройства, реализующие некоторые логические операции классической логики. Так, элемент «НЕ» соответствует операции \neg , элемент «ИЛИ» – операции \vee и т.д. Установлено, однако, что элементная база классического компьютера основывается всего на двух логических элементах, например на «НЕ» и «исключающее ИЛИ-НЕ».

Процессор преобразует, меняет содержание разрядов регистра посредством каждого, входящего в него логического элемента U :

$$U : |n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle \rightarrow |n'_{m-1}n'_{m-2}\dots n'_0\rangle. \quad (9.3)$$

9.3.2. Квантовый процессор

Квантовый процессор также состоит из логических элементов, называемых *гейтами*.

На рис. 9.3 изображен квантовый логический элемент « \sqrt{NE} », который переводит 0 в 1 и 1 в 0, а также 0 в 0 и 1 в 1, но лишь с вероятностью $p_{ij} = 1/2$, ($i, j = 0, 1$).

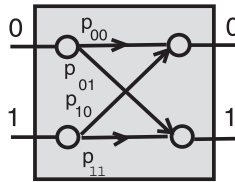


Рис. 9.3. Логический элемент с вероятностями p_{ij} переходов $i \rightarrow j$

В теории квантового компьютера существует бесконечное количество логических элементов. Однако доказано, что квантовый компьютер может быть построен всего из двух логических элементов: однокубитового $\widehat{Q}(\theta, \varphi)$ и 2-кубитового « $CNOT$ » (управляемое НЕ).

Квантовый процессор преобразует, меняет содержание разрядов квантового регистра посредством каждого входящего в него логического элемента (гейта) \widehat{U} :

$$\begin{aligned} \widehat{U} : \sum_{n_{m-1}=0}^1 \sum_{n_{m-2}=0}^1 \dots \sum_{n_0=0}^1 c_{n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0} |n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle &\rightarrow \\ \rightarrow \sum_{n_{m-1}=0}^1 \sum_{n_{m-2}=0}^1 \dots \sum_{n_0=0}^1 c_{n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0} |n'_{m-1}n'_{m-2}\dots n'_0\rangle. \end{aligned} \quad (9.4)$$

Как видно из формулы (9.4), **в один шаг изменены сразу все 2^m значений базисных состояний**. Это *эффект параллелизма* в работе квантового компьютера, не имеющий места

для классических компьютеров. Для такой производительности за один шаг потребовалось бы 2^m классических процессоров. Если $m = 16$, то $2^{16} = 65536!$

Состояние

$$\sum_{n_{m-1}=0}^1 \sum_{n_{m-2}=0}^1 \dots \sum_{n_0=0}^1 c_{n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0} |n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle \quad (9.5)$$

квантового регистра называется *сцепленным*, если оно не может быть представлено в виде

$$|x_1\rangle \dots |x_m\rangle, \quad (9.6)$$

где $|x_j\rangle = \alpha_j|0\rangle + \beta_j|1\rangle$ ($j = 1, \dots, m$).

Если состояние регистра (9.5) не является сцепленным, то это означает фактическое наличие в распоряжении для вычислений классического регистра вида (9.6), а значит только он и преобразуется на данном такте работы квантового компьютера. Отсутствуют другие, параллельные базовые состояния и, следовательно, отсутствует эффект квантового параллелизма, существенно ускоряющего работу компьютера и определяющего беспрецедентную эффективность квантовых вычислений.

9.4. Условия появления квантового компьютера

Для того чтобы квантовый компьютер стал реальным инструментом для вычислений, необходимо решить следующие технические проблемы:

- Создать физическое устройство, содержащее достаточно большое число $N > 100$ кубитов.
- Научиться приводить входной регистр в исходное основное базисное состояние

$$\underbrace{|00\dots 0\rangle}_m$$

- Обеспечивать большое время декогеренции (не менее чем 104 раза больше времени выполнения основных квантовых операций (время такта)).

Декогеренция – это взаимодействие системы кубитов с окружающей средой. Она приводит к разрушению суперпозиций квантовых состояний и делает невозможным выполнение квантовых алгоритмов.

- Обеспечить возможность измерения состояния квантовой системы на выходе, т. е. при выводе результата.



Рис. 9.4. Устройства квантового компьютера

9.5. Вычисление на квантовом компьютере

9.5.1. Ввод начальных данных

Дано базовое состояние регистра (памяти):

$$| \underbrace{00\dots0}_m \rangle \equiv \underbrace{|0\rangle \otimes |0\rangle \otimes \dots \otimes |0\rangle}_m. \quad (9.7)$$

С помощью последовательного применения к состоянию (9.7) гейтов

$$\hat{U}^{(1)}, \hat{U}^{(2)}, \dots, \hat{U}^{(m)},$$

$$\widehat{U}^{(k)} = \widehat{I} \otimes \dots \otimes \widehat{I} \otimes \underbrace{\widehat{U}_1}_k \otimes \widehat{I} \otimes \dots \otimes \widehat{I},$$

где $\widehat{U}^{(k)}$ действует только на k -й кубит посредством гейта \widehat{U}_1 , преобразующего однокубитовое состояние, квантовый регистр приводится в m -кубитовое состояние, являющееся *когерентной суперпозицией* всех базисных состояний:

$$\begin{aligned} \widehat{U}^{(m)} \widehat{U}^{(m-1)} \dots \widehat{U}^{(1)} : \underbrace{|00\dots 0\rangle}_m &\rightarrow \widehat{U}^{(m)} \widehat{U}^{(m-1)} \dots \widehat{U}^{(1)} \underbrace{|00\dots 0\rangle}_m = \\ &= \sum_{n=0}^{2^m-1} c_n |n\rangle \equiv \\ &\equiv \sum_{n_{m-1}=0}^1 \sum_{n_{m-2}=0}^1 \dots \sum_{n_0=0}^1 c_{n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0} |n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0\rangle, \end{aligned} \quad (9.8)$$

где

$$n = (n_{m-1}n_{m-2}\dots n_0)_2 = \sum_{l=1}^m n_{m-l} 2^{m-l}$$

– двоичное представление числа n и

$$\sum_{n=0}^{2^m-1} |c_n|^2 = 1.$$

Состояние (9.8) является начальным. Ввод информации завершен.

Пример 9.6. Если

$$\widehat{U}_1|0\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle + |1\rangle), \quad \widehat{U}_1|1\rangle = \frac{1}{\sqrt{2}}(|0\rangle - |1\rangle),$$

то

$$\widehat{U}^{(m)} \widehat{U}^{(m-1)} \dots \widehat{U}^{(1)} \underbrace{|00\dots 0\rangle}_m = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_{n=0}^{2^m-1} |n\rangle. \quad (9.9)$$

(Здесь все m -кубитовые базовые состояния $|n\rangle$ равновероятны).

Состояние (9.9) является начальным. Ввод информации завершен.

9.5.2. Вычисление

Вычисление – это преобразование \hat{U}_F начального состояния (9.8):

$$\hat{U}_F \left(\sum_{n=0}^{2^m-1} c_n |n\rangle \right) = \sum_{n=0}^{2^m-1} c_n \hat{U}_F |n\rangle = \sum_{n=0}^{2^m-1} c_n |F(n)\rangle. \quad (9.10)$$

В случае (9.9) имеем

$$\hat{U}_F \left(\frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_{n=0}^{2^m-1} |n\rangle \right) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \sum_{n=0}^{2^m-1} |F(n)\rangle. \quad (9.11)$$

Конкретная реализация преобразования \hat{U}_F представляет собой запрограммированный квантовый алгоритм вычисления значений функции F .

Как видно из формулы (9.10), **в один шаг вычислены сразу все значения функции F** . Это *эффект параллельности* квантовых вычислений, о котором мы говорили в § 9.3.2.

9.5.3. Вывод результата

Вывод результата в квантовом компьютеринге – это *измерение* квантового состояния (9.10):

$$\sum_{n=0}^{2^m-1} c_n |F(n)\rangle \rightarrow |F(n)\rangle.$$

В силу принципа квантовой механики вмешательство измеряющего устройства (устройство вывода данных) означает декогеренцию, т.е. разрушение когерентного состояния (9.10). Мы получаем значение $F(n)$ лишь с вероятностью $|c_n|^2$.

В нашем примере (9.8) с равной вероятностью $1/2^m$ любое значение $F(n)$!

Получаемый на выходе результат вычислений вследствие декогеренции, как видим, носит *вероятностный характер!* Иначе говоря, то, что получено на выходе – состояние (регистра) $|F(n)\rangle$, верно лишь с некоторой вероятностью $|c_n|^2$.

«Наблюдение (части) памяти – не то же самое, что «печатать результата». Мы должны спланировать серию прогонов одной и той же квантовой программы и последующую классическую обработку наблюдаемых результатов, и мы можем только надеяться получить желаемый результат с вероятностью, близкой к единице» [78, с. 271].

9.6. Исправление квантовых ошибок

Классические компьютеры надежны, поскольку производимые вычисления можно защитить от *сбоев*, т. е. от ошибок, возникающих вследствие воздействия окружающей среды.

Взаимодействие квантового компьютера с окружающей средой ведет к декогеренции, которая разрушает когерентную суперпозицию и тем самым останавливает то, что делает квантовые вычисления привлекательными по сравнению с классическими, – их параллельность.

Возникновение декогеренции – то же, что появление сбоев в работе классических ЭВМ, поэтому борьбу с декогеренцией, её преодоление называют *исправлением квантовых ошибок*.

Декогеренцию, а также *квантовый шум*, т. е. взаимодействие m -кубита $|q\rangle$ со средой \mathcal{E} , можно представить в виде:

$$|q\rangle|\mathcal{E}_0\rangle \rightarrow \sum_k \hat{E}_{i_k} |q\rangle|\mathcal{E}_k\rangle, \quad (9.12)$$

где

$|\mathcal{E}_0\rangle$ – состояние среды до взаимодействия,
 \widehat{E}_j – j -й оператор ошибки (тип ошибки, один из трех, т.е. $j = 1, 2, 3$),
 $|\mathcal{E}_k\rangle$ – k -е состояние среды после взаимодействия.

Исправление квантовых ошибок – это процесс Cr , организованный в ходе работы квантового компьютера, который переводит состояния вида $\widehat{E}_{i_k}|q\rangle$ в $|q\rangle$.

В результате имеем восстановление чистого состояния регистра $|q\rangle$:

$$\sum_k \widehat{E}_{i_k}|q\rangle|\mathcal{E}_k\rangle \xrightarrow{Cr} |q\rangle|\mathcal{E}_f\rangle,$$

свободного от помех (сцепленности со средой).

Разработаны различные методы исправления квантовых ошибок.

9.7. Классический компьютер вычисляет всё, что вычисляет квантовый

Изменения во времени состояния регистра $|\psi(t)\rangle$ квантового компьютера описываются с помощью основного уравнения квантовой механики – уравнения Шрёдингера:

$$i\hbar \frac{d}{dt}|\psi(t)\rangle = \widehat{H}|\psi(t)\rangle.$$

Здесь \widehat{H} – гамильтониан, реализующий конкретный вычислительный (квантовый) алгоритм.

Как известно, решение уравнения Шрёдингера можно записать в виде

$$|\psi(t)\rangle = e^{-\frac{i}{\hbar} \int_0^t \hat{H} dt} |\psi(0)\rangle.$$

Это квантовая эволюция начального регистра $|\psi(0)\rangle$. Отсюда видно, что найти $|\psi(t)\rangle$ можно, производя классические вычисления экспоненты от матрицы. Это крайне трудоёмкие вычисления, но, в принципе, выполнимые. Следовательно, классический компьютер может вычислить всё, что вычисляет квантовый компьютер, и нет никакого шанса построить квантовый компьютер, вычисляющий классически невычислимые функции.

9.8. Квантовый алгоритм факторизации Шора

Квантовый алгоритм – это алгоритм, основанный на квантовых вычислениях.

Факторизовать натуральное число n – значит найти хотя бы один его делитель p . Тогда имеем $n = pq$.

Классический алгоритм Ленгстры находит разложение числа n на простые множители за $O(e^{an^{1/3}})$ шагов.

Квантовый алгоритм Шора делает это гораздо быстрее. Он имеет полиномиальную сложность $O(n^2 \log n \log \log n)$.

9.9. Реализация квантового алгоритма Шора на трех кубитах

Американские физики из университета Санта Барбары сделали очередной шаг на пути создания полноценного кванто-

вого компьютера – они смогли полноценно реализовать квантовый алгоритм Шора на системе с тремя кубитами (2012) [137].

В рамках исследования ученые собрали квантовый процессор, состоящий из девяти элементов: четырех кубитов – квантовых аналогов бита, способных находиться в суперпозиции сразу нескольких состояний, а также пяти сверхпроводящих волноводов (рис. 9.5). Вся система была реализована на алюминиевой подложке, охлажденной до нескольких милликельвинов. Кубиты представляли собой колеблющиеся частицы, а переносчиками взаимодействия выступали фотоны.

На первом этапе исследования ученые продемонстрировали, что их система действительно представляет собой квантовый компьютер, т. е. в ней наблюдаются квантовые эффекты. Например, они показали, что процессор способен сцеплять (запутывать) пары и тройки кубитов.

После этого ученые продемонстрировали, что, используя только три кубита, система способна реализовать алгоритм Шора. Факторизовалось число 15.

Так как все квантовые алгоритмы имеют вероятностную природу, то исследователи провели около 150 тысяч тестов и установили, что алгоритм дает правильный ответ примерно в 48% случаев.

Впервые 15 было разложено на простые множители квантовым компьютером ИВМ еще в 2001 году с использованием 7 кубитов, однако тогда многие говорили, что речь идет не о полноценной квантовой системе. В 2007 году ученые из Бристольского университета представили техническую реализацию алгоритма Шора, в которой, среди прочего, наблюдалась сцепленность, однако характеристики работы компьютера не изучались.

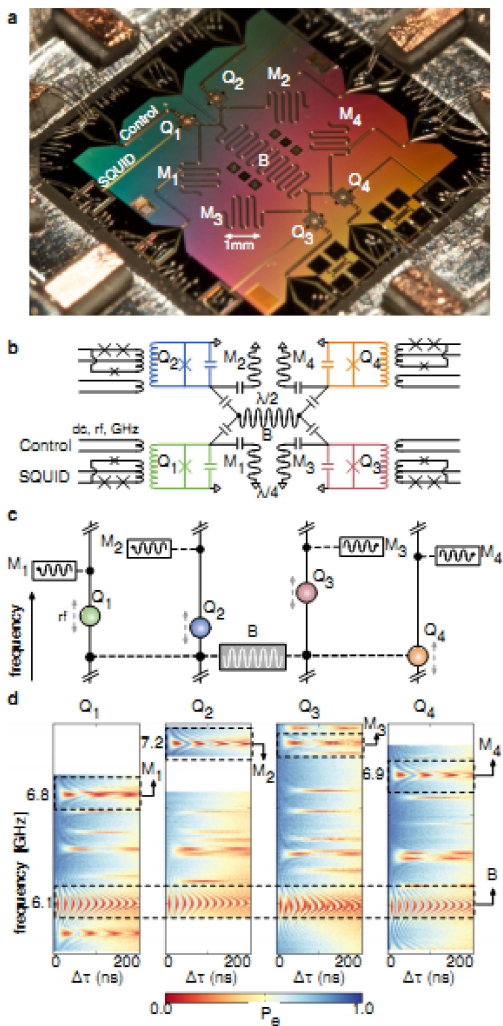


Рис. 9.5. Архитектура и действие квантового процессора с 4 кубитами [137] (на рисунках: O_i ($i = 1, 2, 3, 4$) – кубит)

Глава 10

Искусственный интеллект

В кибернетике и поныне блуждает миф о гомункуле, искусственно созданном человеке.

*Станислав Лем.
Сумма технологии*

Искусственный интеллект (artificial intelligence) – условное обозначение кибернетических систем, моделирующих некоторые стороны интеллектуальной¹ деятельности человека – логическое, аналитическое мышление².

В технической кибернетике под созданием искусственного интеллекта понимается моделирование интеллектуальной деятельности в искусственных средах с помощью вычислительных машин. Иначе говоря, строится машина, которая в определенных сферах человеческой деятельности, для которых ма-

¹ *Интеллект* (лат. intellectus) – ум, рассудок, разум, мыслительные способности человека.

² *Лопатников Л.И.* Экономико-математический словарь. М.: Дело, 2003.

шины сделаны и где требуется принятие правильных решений, способна заменить человека. Например, либо полностью заменить пилота авиалайнера или шофера автобуса (такси), либо обучать детей математике и т. д.

Машина, наделенная искусственным интеллектом, должна обладать такими способностями мозга, как решение задач путем приобретения, запоминания и целенаправленного преобразования *знаний* в процессе обучения на опыте и адаптации к разнообразным обстоятельствам, возникающим в среде, окружающей машину.

Знания – это не только информация об объектах и ситуациях окружающей среды, но и рецепты о том, как поступать, т. е. совершать действия при появлении в поле деятельности объектов или при иных ситуациях. Знания не только накапливаются, т. е. поступают из среды и запоминаются, но и возникают при обучении машины совершать действия посредством приобретения опыта и адаптации к меняющимся обстоятельствам.

Термин «искусственный интеллект» (artificial intelligence) был предложен в 1956 году на семинаре с аналогичным названием в Дартмутском колледже (США).

В 1974 году при Комитете по системному анализу при президиуме АН СССР был создан научный Совет по проблеме «Искусственный интеллект», который возглавлял Г.С. Поспелов.

Искусственный интеллект – это отдельная область науки. Она имеет два направления: нейрокибернетика и кибернетика «черного ящика».

10.1. Тест Тьюринга

«Искусственный интеллект можно определить как свойство цифровой вычислительной машины или сети нейроподобных элементов реагировать на информацию, поступающую на ее входные устройства, почти так же, как реагирует в тех же информационных условиях некоторый задуманный

или конкретный человек» (А.Г. Ивахненко, [4, с. 5]).

Очевидно, для того чтобы выяснить, обладает ли созданный компьютер искусственным интеллектом, нужно провести тестирование. Такой тест предложил английский логик Алан Тьюринг. Участники теста: человек спрашивающий, человек отвечающий и компьютер отвечающий. Все участники теста не видят друг друга.

Человек спрашивающий задает вопросы двум другим участникам теста. На основании ответов на вопросы он должен определить, с кем он разговаривает: с человеком или компьютерной программой. Задача компьютерной программы – ввести человека в заблуждение, заставив сделать неверный выбор.

Тест нацеливает специалистов на создание машины с искусственным интеллектом, которая удовлетворит тесту. И если это удастся, то можно будет утверждать, что машина разумна, так как способна поддерживать разговор с обычным человеком и он не сможет понять, что говорит с машиной (разговор идёт по переписке).

10.2. Нейрокибернетика

Единственная сущность, известная нам, способная мыслить, – это человеческий мозг. Поэтому можно предположить, что любое мыслящее устройство надо строить, воспроизводя его структуру. Таким образом, нейрокибернетика ориентирована на программно-аппаратное моделирование структур, подобных структуре мозга. Усилия нейрокибернетики были сосредоточены на создании элементов, аналогичных нейронам, и их объединении в функционирующие системы, т. е. в нейронные сети.

Нейронные сети – это одно из направлений исследований в области искусственного интеллекта, основанное на попытках воспроизвести нервную систему человека, а точнее, способность нервной системы обучаться и исправлять ошибки. По

мнению специалистов по нейронным сетям, это должно позволить смоделировать в какой-то мере работу человеческого мозга.

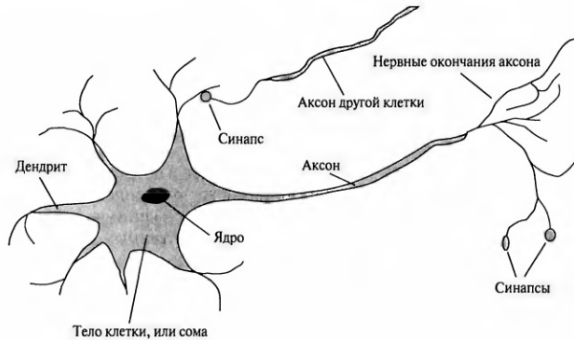


Рис. 10.1. Схема нейрона (дендриты – входы, аксон – выход)

10.2.1. Модель нейрона. Нейронные сети

Нейронная сеть состоит из нейронов, каждый из которых является моделью реального нейрона, из которых состоит мозг человека. Каждый нейрон – это вычислительный элемент, имеющий несколько входов-синапсов³ и один выход-аксон⁴. Структура отдельного нейрона, предложенного Мак-Каллоком и Питтсом в 1943 году, изображена на рис. 10.2.

Входные сигналы (переменные) X_i учитываются с некоторым весом W_i , называемым синаптическими весами, затем

³ *Синапс* (греч. *synapsis* – соприкосновение, соединение) – специализированная зона контакта между отростками нервных клеток и другими возбудимыми и невозбудимыми клетками, обеспечивающая передачу информационного сигнала.

⁴ *Аксон* (от греч. *axo* – ось) – отросток нервной клетки, по которому нервные импульсы идут от тела клетки к иннервируемым органам и другим нервным клеткам. От каждой нервной клетки (нейрона) отходит только один аксон.

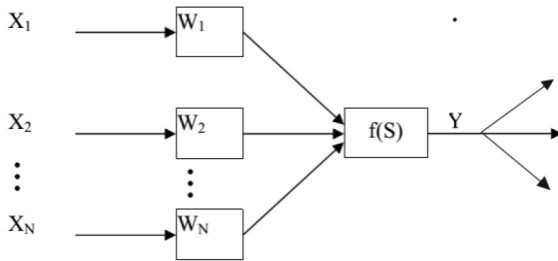


Рис. 10.2. Структура нейрона [11]

суммируются, и полученная взвешенная сумма

$$S = W_1 X_1 + W_2 X_2 + \dots + W_N X_N$$

подвергается изменению функцией $Y = f(S)$, называемой функцией активации.

Выходной сигнал Y должен принимать два значения – 0 или 1. Это достигается выбором такой ступенчатой функции активации g :

$$Y = g(S) = \begin{cases} 1, & S \geq \theta \\ 0, & S < \theta, \end{cases}$$

где θ – порог чувствительности. Таким образом, если суммарное возбуждение S не превысит порога, то на выходе нейрона нет сигнала. Это подобно тому, как ведет себя живой нейрон.

Однако в качестве функции активации чаще всего используются функция $Y = 1/(1 + \exp(-S))$, а также гиперболический тангенс, логарифмическая функция, линейная и другие. Основное требование к таким функциям – монотонность.

Выходной сигнал Y также может подвергаться взвешиванию (масштабированию).

Построив сеть из нейронов (см. пример на рис. 10.3), ее начинают обучать. Обучение заключается в том, что на вход сети подаются отобранные заранее специальные тренировочные данные, т. е. такие входные данные, выходной результат

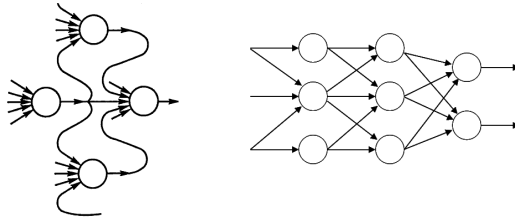


Рис. 10.3. Примеры нейронной сети (окружности включают детали нейрона; слева однослойная сеть, справа – многослойная (кружок – это один или два нейрона)) [11]

для которых известен. Подав на вход данные, получают данные на выходе, которые сравниваются с тем, что должно быть. Как правило, необученная сеть выдает данные с ошибками. Ошибки вычисляются и выполняется коррекция параметров нейросети. Снова на вход даются данные и снова выходные данные сравнивают с ожидаемыми. В случае ошибки все повторяется до тех пор, пока не достигается нужный результат с определенной точностью. Если удовлетворительной точности достигнуть не удастся, следует изменить структуру сети и повторить обучение на множестве тренировочных данных. После того как сеть обучена, выполняется тестирование, т. е. контроль точности на специальных тестовых данных.

Тестирование похоже на обучение. На вход сети подаются входные данные теста и смотрят, что получается на выходе. Тестирование отличается от обучения тем, что на тестовых данных проверяется только точность работы сети, т. е. параметры сети уже не корректируются, а проверяется, насколько хорошо соответствуют выходные данные тестовому результату.

10.2.2. Перцептроны

В 1957 году американский физиолог Ф. Розенблатт предложил модель зрительного восприятия и распознавания – *перцептрон*.

Розенблатт предполагал, что предложенный им перцептрон моделирует существенные черты человеческого восприятия, в особенности восприятия зрительных образов. Для достижения поставленной цели необходимо было установить, что перцептрон легко можно будет обучить узнаванию одного и того же изображения независимо от масштаба изображения, существенных сдвигов его в рецепторном поле и других преобразований, которым подвергается изображение. С такой задачей легко справляется человеческий глаз, относя преобразованные изображения к одному и тому же понятию.

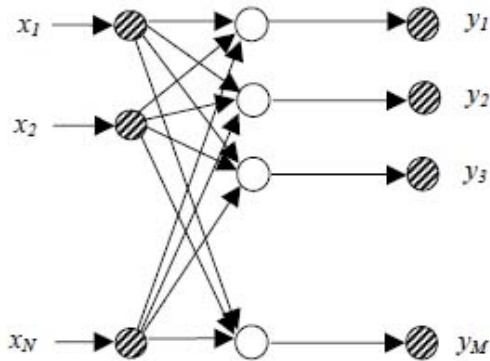


Рис. 10.4. Однослойный перцептрон Розенблатта

Однослойный перцептрон содержит элементы трех типов (см. рис. 10.4). S-элементы формируют сетчатку сенсорных клеток, принимающих двоичные сигналы от внешнего мира. Далее сигналы поступают в слой ассоциативных, или А-элементов (часть связей от входных S-клеток к А-клеткам не показана). Ассоциативные элементы выполняют нелинейную обработку информации и имеют изменяемые веса связей. R-элементы с фиксированными весами формируют выходной сигнал реакции перцептрона на входной стимул.

Однослойный перцептрон характеризуется матрицей си-

наптических связей W от S- к A-элементам. Элемент W_{ij} матрицы отвечает связи, ведущей от i -го S-элемента к j -му A-элементу.

Выходной сигнал y_i , принимающий значения 0 или 1, формируется по формуле

$$y_i = g \left(\sum_{j=1}^N w_{ij} x_j - w_{0i} \right),$$

где g – ступенчатая активационная функция.

Перцептрон или любая программа, имитирующая процесс распознавания, работают в двух режимах: обучения и распознавания.

В режиме обучения машине предъявляются объекты и о каждом из них сообщается, к какому понятию (классу) он принадлежит. По этим данным строится решающее правило, являющееся формальным описанием понятий. В режиме распознавания машине предъявляются новые объекты (вообще говоря, отличные от ранее предъявленных), и она должна их классифицировать, по возможности правильно.

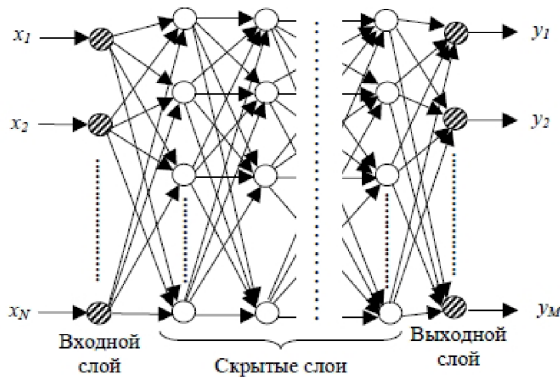


Рис. 10.5. Многослойный перцептрон Розенблатта

В США в Корнельской авиационной лаборатории была по-

строена электротехническая модель перцептрона MARK-1, которая содержала 8 выходных R-элементов и 512 A-элементов, которые можно было соединять в различных комбинациях. На этом перцептроне была проведена серия экспериментов по распознаванию букв алфавита и геометрических образов.

Розенблатт доказал теорему об обучаемости перцептрона, согласно которой перцептрон может научиться всему, что он может представлять, а точнее, успешное обучение возможно для перцептронно представимых функций. Розенблатт высказал утверждение, что нейронная сеть рассмотренной архитектуры будет способна к воспроизведению любой логической функции. Однако, как показали М. Минский и С. Пейперт (1969), это утверждение не является верным. Были выявлены принципиальные неустранимые ограничения однослойных перцептронов, и в последствии стал в основном рассматриваться многослойный вариант перцептрона (рис. 10.5), в котором имеются несколько слоев процессорных элементов.

10.2.3. Нейроимитаторы

Как правило, нейронные сети создаются не из «железа», т. е. не аппаратно, а программно. Другими словами, пишется компьютерная программа, которая представляет собой компьютерную модель нейросети. Такие модели называются *нейроимитаторами*. Такой подход в духе современности, поскольку предпочтительнее опробовать всевозможные ситуации функционирования нейросети на ее компьютерной модели, и уже в случае успешности конструкции реализовывать ее аппаратно.

Нейроимитатор представляет собой компьютерную программу (или пакет программ), которая выполняет следующие функции⁵:

- описание и формирование архитектуры нейронной сети;
- сбор данных для обучающей выборки;

⁵ Терезов С.А. Лекции по теории и приложениям искусственных нейронных сетей. URL: http://alife.narod.ru/lectures/neural/Neu_index.htm.

- обучение выбранной нейросети на обучающей выборке или загрузка уже обученной сети с диска;
- тестирование обученной нейросети;
- визуализация процесса обучения и тестирования;
- решение задач обученной сетью;
- запись результатов обучения и полученных решений на диске.

Нейроимитаторы, которые позволяют реализовывать перечисленные функции, выпускаются разными фирмами. Например, фирма Neural Ware производит продукт Neural Works Professional II+, фирма HNC предлагает пакет программ ExploreNet 3000. Можно также использовать программу MultiNeuron, разработанную в Красноярском научном центре.

10.3. Кибернетика «черного ящика»

В кибернетике «черного ящика» считается, что не имеет значение, как устроено «мыслящее» устройство. Главное, чтобы на заданные входные воздействия оно реагировало так же, как человеческий мозг.

Не зная, как осуществляется процесс мышления в мозгу и не дожидаясь раскрытия тайн алгоритмов, которыми пользуется естественный интеллект, в кибернетике «черного ящика» идут по пути разработки самых разнообразных алгоритмов, которые «на выходе» выдавали бы результаты, подобные тем, что способен произвести человеческий мозг.

Доказательство теорем – это то, что является ярким примером интеллектуальной деятельности человеческого мозга. Кибернетика «черного ящика» пытается воспроизвести это с помощью ЭВМ, придумывая различные приемы автоматизации доказательства теорем.

В ЛОМИ (Ленинградское отделение Математического института им. В.А. Стеклова) была создана программа АЛШЕВ ЛОМИ, автоматически доказывающая теоремы. Она основана на оригинальном обратном выводе, придуманном Ю.С. Мас-

ловым в 1963–1970 годах, аналогичном методу резолюций Робинсона.

Американец Робинсон разработал свой метод резолюций, основанный на методах математической логики, который позволяет автоматически доказывать теоремы при наличии набора исходных аксиом.

На основе метода резолюций француз Альбер Кольмероз в 1973 году создал язык логического программирования Prolog. Программы, записанные на языке Prolog, представляют набор фактов и правил логического вывода без жесткого задания алгоритма как последовательности действий, приводящих к необходимому результату (см. § 10.4.1).

Программа «ЛОГИК-ТЕОРЕТИК» (США, 1957), предназначенная для доказательства теорем в исчислении высказываний, позволила успешно доказать 38 из 52 теорем главы 2 книги Уайтхеда и Рассела «Принципы математики», а модифицированный алгоритм ЛТ на более мощной ЭВМ доказал позднее все 52 теоремы.

10.4. Представление знаний

В 1965-1980 годы в СССР происходит рождение нового направления в теории искусственного интеллекта, называемого *ситуационным*. Основателем этого направления стал проф. Д.А. Поспелов. Были разработаны специальные модели представления ситуаций. На Западе это направление называют *представлением знаний*.

Оно появилось в США, когда в середине 1970-х годов на смену поискам универсального алгоритма мышления пришла идея моделировать конкретные знания специалистов-экспертов. В США появились первые коммерческие системы, основанные на знаниях, или экспертные системы. Были созданы две первые экспертные системы для медицины и химии – MYCIN и DENDRAL, ставшие уже классическими.

В 1980-1990 годы в СССР проводятся активные исследования в области представления знаний, разрабатываются языки

представления знаний, экспертные системы. В МГУ создается язык РЕФАЛ.

Знания – это любая информация о системе и ее окружении на всех этапах жизненного цикла системы искусственного интеллекта. Это выявленные закономерности предметной области (принципы, связи, законы), позволяющие решать задачи в этой области.

Как видим, знание – это не просто данные, а данные, которые осмыслены человеком, снабжены рецептами по их использованию с ожидаемым результатом, который подтвержден неоднократным применением в практической деятельности.

Система, обладающая искусственным интеллектом, – это система, оперирующая знаниями о проблемной области, т. е. области, в пределах которой предстоит функционировать системе. Накопленные знания складываются в *базу знаний*.

База знаний – система знаний в компьютерном представлении.

Выделяют четыре **метода представления знаний**:

- логические представления,
- семантические сети,
- фреймы,
- системы продукций.

10.4.1. Логические представления

Информация, необходимая для решения прикладных задач, рассматривается как совокупность фактов и правил, которые представляются как формулы в некоторой логике. Знания отображаются совокупностью таких формул, а получение новых знаний сводится к реализации процедур логического вывода.

Получение новых знаний автоматизировано путем создания специального языка программирования Prolog.

Программирование на языке Prolog состоит из следующих этапов:

- объявления некоторых фактов об объектах и отношениях между ними;
- определения некоторых правил об объектах и отношениях между ними;
- формулировки вопросов об объектах и отношениях между ними.

Факты, правила и вопросы записываются как формулы логики предикатов. Ответить на вопрос – значит найти доказательство формулы, которая является записью вопроса. Доказательства в Prolog проводятся методом резолюций Робинсона.

*Логическая программа*⁶ представляет собой конечный набор формул логики предикатов одного из следующих видов:

$$P(t_1, \dots, t_n), \quad (10.1)$$

$$Q(s_1, \dots, s_k) : -Q_1(s_1, \dots, s_k), \dots, Q_m(s_1, \dots, s_k), \quad (10.2)$$

где P, Q, Q_1, \dots, Q_m – предикаты, а $t_1, \dots, t_n, s_1, \dots, s_k$ – термы. Формулы первого вида называются *фактами*, а второго – *правилами*. (В конце каждого выражения ставится точка). Факт – один-единственный экземпляр, свойство или отношение между объектами.

Правило (10.2) читается как « $Q(s_1, \dots, s_l)$ истинно, если истинны $Q_1(s_1, \dots, s_l), \dots, Q_m(s_1, \dots, s_l)$ ». Формула $Q(s_1, \dots, s_l)$ называется *заголовком* правила (10.2). Правило позволяет вывести новые факты из уже имеющихся.

Таким образом, логическая программа состоит из конечно-

⁶ При написании этого параграфа использованы материалы сайта URL: <http://pgap.chat.ru/zap/zap149.htm>.

го числа фактов и правил:

$$\begin{aligned}
 & \mathcal{A}. \\
 & \dots \\
 & \mathcal{M}. \\
 & \mathcal{N} : - \mathcal{N}_1, \dots, \mathcal{N}_m. \\
 & \dots \\
 & \mathcal{W} : - \mathcal{W}_1, \dots, \mathcal{W}_d.
 \end{aligned} \tag{10.3}$$

В фактах и правилах описывается логическая модель предметной области, отношения предметов и правила получения новых свойств. Логическая программа задает множество следствий, которые являются результатом программы. Выполнение логической программы – это *вывод следствия* из нее.

Для *выполнения программы* требуется обратиться с *целевым запросом* (целью), который представляет собой последовательность фактов вида

$$R_1(u_1, \dots, u_m), \dots, R_p(u_1, \dots, u_m), \tag{10.4}$$

где $R_j(u_1, \dots, u_m)$ – атомарные формулы логики первого порядка, буквы u_i – термы.

Выполнение программы состоит в попытке решить задачу, т. е. доказать целевое утверждение (10.4), используя факты и предположения $\mathcal{N}_1, \dots, \mathcal{N}_m, \dots, \mathcal{W}_1, \dots, \mathcal{W}_d$, заданные в логической программе.

Описанные конструкции логического программирования семантически интерпретируются в логике предикатов. Процедура интерпретации состоит в сопоставлении формулам логической программы формул логики предикатов.

Для этого каждому факту (10.1) ставится в соответствие формула

$$\mathcal{F} = \forall x_1 \dots \forall x_s P(t_1, \dots, t_n), \tag{10.5}$$

где кванторы общности навешены на все переменные x_1, \dots, x_s атомарной формулы (10.1), входящие в термы t_j (кроме переменных, в термах могут быть и константы).

Правилу (10.2) ставится в соответствие формула вида

$$\mathcal{G} = \forall y_1 \dots \forall y_r (Q_1(s_1, \dots, s_l) \& \dots \& Q_m(s_1, \dots, s_l) \Rightarrow Q(s_1, \dots, s_l)), \quad (10.6)$$

где кванторы общности, как и выше, «навешены» на все переменные, входящие в термы s_i .

Запрос (10.4) получит в соответствие формулу

$$\mathcal{H}_Z = \exists z_1 \dots \exists z_d (R_1(u_1, \dots, u_m) \& \dots \& R_p(u_1, \dots, u_m)), \quad (10.7)$$

где кванторы существования связывают все переменные.

Пусть $\mathcal{F}_1, \dots, \mathcal{F}_a$ – формулы, соответствующие всем фактам, $\mathcal{G}_1, \dots, \mathcal{G}_b$ – всем правилам. Тогда значение пары <программа, запрос> есть утверждение о том, что формула \mathcal{H}_Z есть логическое следствие формул $\mathcal{F}_1, \dots, \mathcal{F}_a, \mathcal{G}_1, \dots, \mathcal{G}_b$. Для того чтобы выяснить, так ли это, применяется метод резолюций.

10.4.2. Семантические сети

Знания представляются в форме ориентированного графа, вершины которого – понятия, а дуги – отношения между ними. Понятия – абстрактные или конкретные объекты. Отношения (предикаты) – это связи между понятиями. Проблема поиска решения в базе знаний сводится к задаче поиска фрагмента сети, которая подходит для ответа на поставленный вопрос.

Семантическая сеть строится из семантических элементов, представленных на рис. 10.6. Пример семантической сети дан на рис. 10.7. На нем прямоугольники – это вершины графа, а стрелки – дуги.

10.4.3. Фреймы

Фрейм – это модель абстрактного образа. Под абстрактным образом понимается нечто, что состоит из имени (например, автомобиль, звезда, футболист) и подробного описания, дающего представление об этом нечто. В результате, читая описание, в мозгу рождается образ этого нечто.



Рис. 10.6. Элемент семантической сети

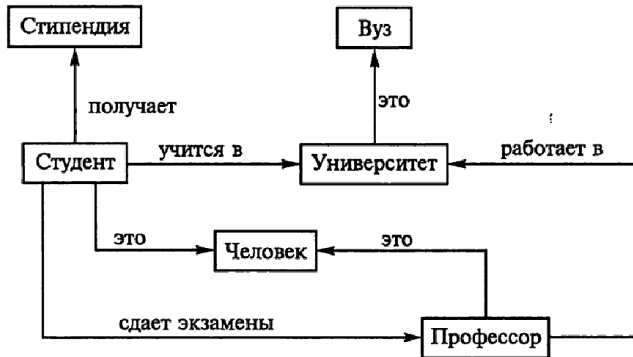


Рис. 10.7. Семантическая сеть [130]

Фрейм состоит из **имени** и отдельных единиц описания, называемых **слотами**:

ИМЯ ФРЕЙМА

Имя 1-го слота: описание 1-го слота

Имя 2-го слота: описание 2-го слота

.....

Имя n-го слота: описание n-го слота

(10.8)

В качестве описания слота может использоваться имя другого фрейма. Это объединяет два фрейма в сеть. *Фреймовая сеть* – это набор фреймов, где некоторые используют имена других фреймов в качестве описания (рис. 10.8). Свойства фреймов наследуются сверху вниз, от вышестоящих к нижестоящим через АКО-связи (АКО – от фразы A Kind Of =ЭТО). Слот с именем АКО указывает на имя фрейма более высокого уровня иерархии.

Фреймовая сеть в качестве представления знания наглядна и считается, что подобным образом мозг человека хранит

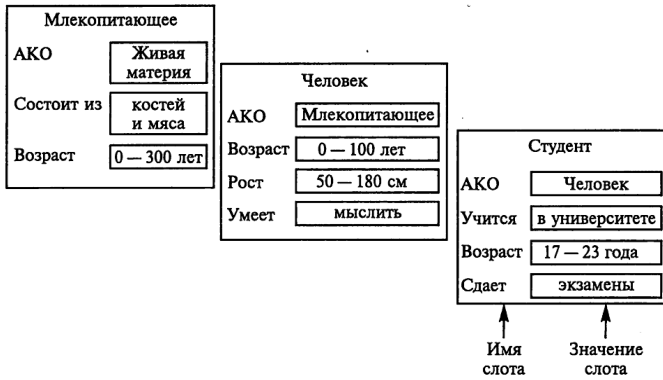


Рис. 10.8. Сеть фреймов [130]

информацию [130, с. 19].

10.4.4. Системы продукций

Знания представляются в виде предложений типа:

ЕСЛИ (условие), ТО (действие),

где (условие) — это предложение, по которому осуществляется поиск в базе знаний; а (действие) — это действия, выполняемые при успешном исходе поиска.

Примеры: ЕСЛИ жаркое лето, ТО урожай плохой; ЕСЛИ идет дождь, ТО возьми зонтик.

Все данные хранятся в *рабочей памяти*, и работа системы осуществляется с помощью *механизма вывода*.

10.5. Компьютерная лингвистика

Компьютерная лингвистика — направление в искусственном интеллекте, среди задач которого — перевод текста (машинный перевод) и разработка системы общения (интерфейса) между компьютером и человеком на естественном языке.

Работы по машинному переводу в СССР начались в 1954 году. Казалось, имея мощную ЭВМ с большим объемом памяти и высокой производительностью, можно загрузить в память ЭВМ максимально богатый словарь и с его помощью из иноязычных текстов получать вполне осмысленный и читаемый текст на родном языке. Однако хотя современне ЭВМ несравнимо более мощные, чем ЭВМ 1950-х годов, получаемые при переводе тексты часто оказываются абсолютно непригодными. Механическая замена слов одного языка на слова другого требует синтаксической коррекции текста, приводящей подчас к потере исходного заложенного в тексте смысла.

Разработка системы общения между компьютером и человеком на естественном языке необходима в связи с тем, что имеются многочисленные пользователи, не желающие общаться с компьютером на искусственном языке (например, на языке программирования).

Поскольку многие фундаментальные проблемы в области обработки естественных языков (Natural Language Processing, NLP) еще не решены, прикладные системы могут оснащаться интерфейсом, понимающим естественный язык при определенных ограничениях (ограниченный язык). Для систем NLP необходимо справиться с двумя задачами: с проблемой понимания выражений естественного языка и проблемой генерации грамотного текста.

Основной проблемой NLP является языковая неоднозначность. Важно научиться получать неискаженную информацию из текста на естественном языке, уловить тот смысл, который в текст вкладывал его автор. У человека это происходит с взрослением в процессе освоения языка; компьютер следует этому научить.

Не менее сложной задачей является задача генерации логически связанных, осмысленных целостных текстов. Ведь правилом построения предложений является умение закладывать в них смысл, развивать сюжет, выдерживать определенный стиль и т. д. Частной, но не менее важной задачей, является автоматическая генерация различных инструкций и технической документации.

10.6. Робототехника

Робототехника – это область искусственного интеллекта, целью которой является создание машин, наделенных интеллектом. Элементы интеллекта робота служат прежде всего для организации его целенаправленных движений⁷.

В 1950-е годы под роботами в основном понимались человекоподобные машины, наделенные искусственным разумом, способные заменить человека там, где речь идет о рутинной, физически тяжелой работе. Писатель-фантаст Айзек Азимов, профессор химии, сформулировал законы робототехники, положенные в основу построения роботов.

Три закона роботехники Азимова:

1. Робот не может причинить вред человеку или своим бездействием допустить, чтобы человеку был причинен вред.
2. Робот должен повиноваться командам, которые ему дает человек, кроме тех случаев, когда эти команды противоречат первому закону.
3. Робот должен заботиться о своей безопасности, насколько это не противоречит первому и второму законам.

10.6.1. Человекоподобные роботы



Робот Asimo

Человекоподобный робот Asimo японской компании Honda является одним из самых «умных».

Он ходит по неровной поверхности; бегаёт со скоростью 6 км/ч; владеет понятием «ступенька» и не будет падать с лестницы, если его не столкнут; обходит движущегося навстречу человека и стоящие крупные предметы; берет и переносит предметы на подносе, подходит и ставит их

на стол, откручивает крышку термоса, наливает из него жидкость в стакан, подносит и отдаёт стакан человеку; распознает

⁷ Сотник С.Л. Основы проектирования систем искусственного интеллекта. М., 1997.

десятки голосовых команд и жестов; умеет ходить с человеком за руку; узнает знакомые лица; различает звуки.

10.6.2. Мобильные роботы

Подвижные роботы создаются с целью их использования в экстремальных условиях, когда люди не могут находиться внутри транспортного средства или если их пребывание там сопряжено с риском для жизни. Разработка таких роботов должна вестись с использованием достижений в области искусственного интеллекта. «Необходимо обеспечить функционирование робота в полностью автоматическом режиме, не исключая возможность работы в комбинированном режиме управления...

Информационное обеспечение процесса принятия решений требует наличия как априорной информации о районе действий и возможностях самого робота, так и постоянно обновляемых данных, оперативно поступающих от бортовых систем... Алгоритмы восприятия и анализа трехмерных сцен по данным системы технического зрения должны обеспечить построение геометрических моделей рельефа в пределах локальной (видимой) зоны, «привязку» геометрической модели рельефа к местной вертикали и текущим координатам робота, выявление препятствий путем сопоставления элементов локальной модели рельефа между собой и с моделью возможностей робота по проходимости, построение модели проблемной среды. Желательно, чтобы модель учитывала размеры робота для того, чтобы в дальнейшем робот можно было рассматривать в виде точки...

В системе управления должен быть предусмотрен механизм оперативной коррекции правил вывода, моделей внешней среды и моделей возможностей робота во время выполнения задания (самообучение и адаптация), включая и механизм неспецифической адаптации для случаев, когда причину расхождения плана и реальности нельзя однозначно идентифицировать» [20].

Примерами таких роботов являются луноходы, марсоходы,

система управления посадкой космического многоразового корабля «Буран» и многие другие.

10.7. Распознавание образов. Обработка изображений

Распознавание образов – раздел кибернетики, связанный с разработкой принципов и построением систем, предназначенных для определения принадлежности данного объекта к одному из заранее выделенных классов объектов.

Под объектами в распознавании образов понимают различные предметы, явления, процессы, ситуации, изображения, сигналы и т. д.

Важной задачей является оснащение функцией распознавания образов систем, наделенных элементами искусственного интеллекта.

Проблема распознавания образов состоит из двух частей: *обучения и распознавания*.

Обучение осуществляется следующим способом. Берется множество объектов, которое разбито на подмножества по некоторому принципу. Эти подмножества называют классами. Затем обучаемому предъявляют отдельные объекты с указанием их принадлежности к тому или другому образу (классу).

Следующий этап – распознавание. В распоряжении обученного распознающего имеется информация о классах и описание всего множества. Предъявляется информация об объекте, принадлежность которого к определенному классу неизвестна. Требуется по имеющейся информации о классах и описанию объекта установить, к какому классу относится этот объект [55].

Автоматизация этих процедур и составляет проблему обучения распознаванию образов. Для целей распознавания образов создаются различные автоматические системы и компьютерные программы. Для этих целей были придуманы, в частности, перцептрон Розенблатта и нейронные сети.

10.8. Экспертные системы

Экспертная система – это программа, которая в состоянии заменить собой человека-эксперта в его профессиональной деятельности. Экспертная система является примером системы искусственного интеллекта.

Первые экспертные системы появились в 1970-х годах в США для медицинской диагностики инфекционных заболеваний, а также для распознавания химических структур различных веществ.

Структурно экспертная система состоит из базы данных, базы знаний, компоненты приобретения знаний, машины вывода и пользовательского интерфейса [11, с. 65].

База данных (рабочая память) предназначена для хранения исходных и промежуточных данных решаемой в текущий момент задачи.

База знаний представляет собой модель мнений эксперта или группы экспертов, представленных в виде особых правил («продукций»), имеющих логическую форму: «если... то». При создании баз знаний используются знания ведущих специалистов в той или иной проблемной области.

Компоненты приобретения знаний автоматизируют процессы наполнения экспертной системы новыми знаниями, осуществляемыми пользователем-экспертом. Эксперты, а это должны быть авторитетные и очень знающие люди (в конкретной предметной области), вносят свои знания в экспертную систему.

Машины вывода, используя исходные данные из рабочей памяти и знания из базы знаний, формируют такую последовательность правил, которые, будучи примененными к исходным данным, приводят к решению задачи.

Экспертные системы представляют собой компьютеризированные системы, моделирующие функции человека и использующие в своей работе опыт и знания авторитетных людей-специалистов (экспертов) в некоторой узкой области знаний, для которой и создана конкретная экспертная система.

Заключение

Что вам даст кибернетика?
Там больше слов, чем дела.

*Б. Патон,
президент АН УССР*

В начале XXI века о кибернетике говорят как о науке XX века. Это означает, что в наши дни в университетах нет обязательных (базовых) дисциплин с таким названием, нет учебников, нет людей, именуемых кибернетиками¹. Иначе говоря, кибернетика не стала наукой, равной физике, химии, биологии, истории и другим общепризнанным наукам.

Однако это вполне объяснимый факт. Можно было даже спрогнозировать такое будущее науки кибернетики. Действительно, создатель кибернетики Винер писал во введении к книге «Кибернетика», что группа ученых, объединенных вокруг Розенблута и его, понимавших наличие принципиально-го единства ряда задач, в центре которых находились вопросы связи (коммуникаций), управления и статистической механики (впоследствии замещенной на теорию информации, которая только разрабатывалась, опираясь, в частности, на статистическую механику), и притом как в машине, так и в живой тка-

¹ Наличие дисциплин «Экономическая кибернетика» на экономических факультетах и в ряде случаев квалификации со словом «кибернетика» являются скорее отзвуками былого величия кибернетики, нежели констатацией общественно значимого состояния этой науки.

ни, нуждалась в необходимой для продвижения в проводимых исследованиях терминологии «или хотя бы едином названии для этой области».

Как видим, нужны были всего лишь названия для работ, в которых задачи, относящиеся к различным (ко всем) наукам, решались бы с акцентом на такие стороны взаимодействия элементов изучаемых систем, как управление процессами, потоки информации и осуществление коммуникаций (связи). Такой подход к решению задач стали называть кибернетическим. Обратив внимание на возможность кибернетического подхода к решению задач, кибернетика исчерпала свой потенциал объединяющей силы. Она стала существовать в форме множества кибернетик, каждая из которых рассматривалась как направление, способ решения задач в каждой конкретной науке, т. е. как математическая кибернетика, как техническая кибернетика, как социальная кибернетика, как биокибернетика, как экономическая кибернетика и т. д.

В СССР кибернетика начала развиваться с 1954 года. Отчасти это связано с тем, что в стране закончился сталинский период правления и начался хрущевский, но во многом и с тем, что кибернетика оказалась востребованной, поскольку страна закончила восстановление разрушенных войной городов, деревень, заводов и перешла к строительству обновленного социалистического общества. При социализме все управление экономикой было сконцентрировано в руках государства. Поэтому возникла потребность в науке управления государством и экономикой. Имевшаяся марксистская теория под названием «Политическая экономия социализма» была переполнена идеологическими догмами, в ней отсутствовали количественные строгие методы управления и прогнозирования и, наконец, она уже не внушала доверия ни в среде прогрессивно настроенных ученых, ни в среде правящей элиты (хотя никто не мог заявить об этом публично). Поэтому кибернетика, достигшая на Западе определенных теоретических успехов, воспринималась в СССР как альтернатива теориям, разработанным заскорузлыми академиками от политической экономии. Тем

более что кибернетика объявляла себя общей теорией управления. Интерес к кибернетике подогревался также тем, что появились ЭВМ и возникла надежда на создание машин, способных не только думать, но и таких, на которые можно будет переложить всю тяжелую физическую работу, а ее в СССР было более, чем предостаточно.

Таким образом, страна имела единое централизованное управление всем народным хозяйством и нуждалось в общей теории управления. Кибернетика в СССР приобрела совсем иное значение, чем на Западе. Расцвет кибернетики в СССР начался в 1960-е годы. На Западе в это время наблюдался обратный процесс – спад интереса и значения кибернетики.

Развитие кибернетики в Соединенных Штатах Америки можно разбить на три периода. В первом периоде, с 1940 по 1974 год, главной заботой было проектирование систем управления и создание машин, имитирующих человеческий разум. Этот период можно назвать периодом инженерной кибернетики. Во втором периоде, с 1974 до середины 1990-х годов, фон Форстер (von Foerster), следуя предложению Маргарет Мид, сумел вернуть кибернетику к ее исходным позициям и поставить в центр внимания человека. Этот возврат был назван *кибернетикой кибернетики*, или *кибернетикой 2-го порядка*. Форстер утверждал, что исходные интересы кибернетики в 1940-е годы касались изучения сущности знания, понимания, наблюдения и нервной системы. Именно в 1940-е годы будущие кибернетики Мак-Каллок и Винер интересовались нейрофизиологией, проблемами восприятия и мышления, осуществляемого человеческим мозгом. Так или иначе, но идеи кибернетики 2-го порядка, нейрокибернетики, стали главенствующими, им следовало большинство членов Американского общества кибернетики, и они распространились за пределы США и, в частности, в Европу.

Кибернетика 2-го порядка утверждала, что знание – это биологическое явление (Матурана, 1970), что каждый человек строит его или ее собственную «реальность» (von Foerster, 1973) и что знание «приспосабливает», но не «соответствует»

миру опыта (фон Глазерсфельд, 1987). Эта программа исследований, которые сосредотачиваются на наблюдателе, привели к новым важным теоретическим достижениям. Эти достижения представляли интерес прежде всего для тех, кто был обеспокоен характером знаний, познания и понимания самих себя.

В последние годы этого периода внимание переключилось на исследование социальных систем. Третий период (с середины 1990-х годов) – это период развития социальной кибернетики, или кибернетики концептуальных систем. Кибернетика рассматривается как концептуальная система, созданная для того, чтобы способствовать развитию определенных социальных систем в предпочтительном направлении [147].

Как видим, кибернетика в США в 1950-1980-е годы, т. е. в первый и второй периоды своего развития, никогда не была востребована государством для управления страной и экономикой. Но в третий период она понадобилась как наука об управлении обществом, правда, всего лишь в форме узкоспециализированной социокибернетики. В СССР, скорее, шел обратный процесс – были востребованы экономическая кибернетика и отчасти техническая кибернетика в плане создания автоматизированных систем управления отраслями экономики.

В СССР уход кибернетики со сцены всеобщего общественного внимания и замена термина «кибернетика» на «информатика» начинается в конце 1980-х годов и окончательно оформляется в 1990-е. Это период исчезновения единого государства, возникновения на его основе нескольких независимых государств. Исчезает единая система управления, исчезает также потребность в общей науке управления, т. е. в кибернетике. И она распадается на множество отдельных направлений.

Такой мы имеем кибернетику в наши дни. В России мы говорим о кибернетике, когда говорим о необходимости найти оптимальное управление системой любой природы с учетом всех потоков информации, а в США говорят о социокибернетике, и это значит, что пытаются направлять движение социальных систем в нужном направлении.

Но и в России, и на Западе ни то, ни другое упоминание кибернетики не воспринимается как обращение к чему-то, что имеет наиважнейшее значение, что способно существенно изменить ситуацию подобно тому, каким является обращение, скажем, к генетике, родившейся одновременно с кибернетикой, или обращение к физике элементарных частиц, с которой сейчас связывают раскрытие тайны рождения Вселенной.

Можно ли надеяться, что кибернетика вернется в умы образованных людей и на страницы средств массовой информации в прежнем одеянии одной из главных наук, находящихся в распоряжении людей и способствующих освоению окружающего нас Внешнего мира?

Если вспомнить о печальной судьбе таких важных для определенных эпох в развитии человечества наук, как нумерология или алхимия, то становится трудным отстаивать оптимистическую позицию. Но если вдуматься, что кибернетика в той или иной форме и даже просто как термин все-таки постоянно присутствует в памяти людей, на страницах книг и интернет-сайтов, то можно предположить, что кибернетика уже занимает свою нишу в интеллектуальной жизни людей, хотя назначение этой ниши является для нас не совсем понятным.

Литература

- [1] Аксель Иванович Берг. 1893–1979 / ред.-сост. Я.И. Фет; сост.: Е.В. Маркова, Ю.Н. Ерофеев, Ю.В. Грановский; отв. ред. А.С. Алексеев. М.: Наука, 2007. 518 с.
- [2] *Александрова В.Д.* Растительное сообщество в свете некоторых идей кибернетики // Бюлл. МОИП, отд. биол. 1961. Т. 66. Вып. 3.
- [3] *Александрова В.Д.* О возможности применения идей и методов кибернетики в лесной биогеоценологии // Основы лесной биогеоценологии. М.: Наука, 1964. С. 501–510.
- [4] *Амосов Н.М.* Алгоритмы разума. Киев: Наукова думка, 1979.
- [5] *Амосов Н.М.* Раздумья о здоровье. 3-е изд., доп., перераб. М.: Физкультура и спорт, 1987. 64 с.
- [6] *Ампер А.М.* Опыт философских наук. Paris: Bachelier, 1834.
- [7] *Ampère A. M.* Essai sur la philosophie des sciences en exposition analytique d'une classification naturelle de toutes les connaissances humaines. P.: Bachelier, 1834.
- [8] *Антанайтис В.В.* Математические модели текущего прироста некоторых древесных пород // Лесн. хоз-во. 1971. №2. С. 49–52.
- [9] *Антанайтис В.В., Загреев В.В.* Прирост леса. М., 1969. 240 с.
- [10] *Ахохова Е.А.* Семиотика и лингвистика. Нальчик, 2007. 44 с.
- [11] *Бессмертный И.А.* Искусственный интеллект: учебное пособие. СПб.: СПбГУ ИТМО, 2010. 132 с.
- [12] *Берг А.И.* Основные вопросы кибернетики (доклад академика А. И. Берга на заседании Президиума Академии наук СССР 10 апреля 1959 г. // История информатики в России: ученые и их школы. М.: Наука, 2003. 486 с.
- [13] *Берг А.И., Китов А.И., Ляпунов А.А.* О возможности автоматизации управления народным хозяйством // Проблемы кибернетики. 1961. Вып. 6. С. 83–100.

- [14] *Берг А.И.* Кибернетика и некоторые технические проблемы управления народным хозяйством // Вопросы философии. 1961. №2. С. 11–24.
- [15] *Берн Э.* Люди, которые играют в игры. Игры, в которые играют люди. М.: Центр общечеловеческих ценностей, 1990.
- [16] *Бир С.* Кибернетика и управление производством. М.: Наука, 1965
- [17] *Бир С.* Мозг фирмы. М.: Радио и связь, 1993.
- [18] *Бодров В.И., Лазарева Т.Я., Мартемьянов Ю.Ф.* Математические методы принятия решений: учеб. пособие. Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2004. 124 с.
- [19] *Бубнов В.А.* Логические операции трехзначной логики. URL: <http://www.omsk.edu/article/vestnik-omgru-98.pdf>.
- [20] *Буйолов Г.* Зачем нужны подвижные роботы? // PC Week/RE №(097) 23 от 17.06.1997. URL: http://www.computer-museum.ru/hist/ussr/robot_mobil.htm.
- [21] *Бурковский И.В.* Морская биогеоценология. Организация сообществ и экосистем. М.: Товарищество научных изданий КМК, 2006. 285 с.
- [22] *Быловский Б.Э.* Наука современных рабовладельцев // Наука и жизнь. 1953. №6. С. 42–44.
- [23] *Валиев К.А., Кокин А.А.* Квантовые компьютеры: надежды и реальность. М.; Ижевск: РХД, 2001.
- [24] *Ведута Н.И.* Экономическая кибернетика. Мн.: Наука и техника, 1971. 318 с.
- [25] *Винер Н.* Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М.: Наука, 1983.
- [26] *Винер Н.* Человеческое использование человеческих существ // Человек управляющий. СПб.: Питер, 2001. 288 с.
- [27] *Воробьев Е.И., Китов А.И.* Медицинская кибернетика. М., 1983.
- [28] *Воробьев В.А.* Выбор конструкции зубных протезов и имплантанных систем на основе программного математического моделирования при лечении больных с различными дефектами зубных рядов: дис. ... д-ра мед. наук. Иркутск, 1996.
- [29] *Герович В.А.* Интернет: попытки создания в СССР // Неприкосновенный запас. 2011. №1(75).
- [30] *Гужицкая С.А.* Особенности сложения пространственно-временных рядов степных фитоценозов Центрально-Тувинской и Убсунурской котловин: дис. ... канд. биол. наук. Новосибирск: НГПУ, 2000. 186 с.
- [31] *Гладков К.* Кибернетика или тоска по механическим солдатам // Техника – молодежи. 1952. №8. С. 34–38.

- [32] *Гладков К.* Кибернетика – псевдонаука о машинах, животных, человеке и обществе // Вестник Московского университета. 1955. №1. С. 57–67.
- [33] *Глушков В.М.* Введение в кибернетику. Киев: Изд-во АН УССР, 1964.
- [34] *Глушков В.М.* Введение в АСУ. Киев: Техніка, 1974.
- [35] *Глушков В.М.* Основы безбумажной информатики. М.: Наука. Главная редакция физико-математической литературы, 1982. 552 с.
- [36] *Гуц А.К. и др.* Социальные системы. Формализация и компьютерное моделирование: учебное пособие. Омск: ОмГУ, 2000. 160 с.
- [37] *Гуц А.К. и др.* Математические модели социальных систем: учебное пособие. Омск: ОмГУ, 2000. 256 с.
- [38] *Гуц А.К. и др.* Методические подходы к использованию корней зубов, разрушенных ниже уровня десны, в качестве опоры под штифтовые конструкции // Панорама ортопедической стоматологии. 2001. №4. С. 34–35.
- [39] *Гуц А.К.* Игровой подход к решению задачи выбора оптимального управления аппаратом,двигающимся к группе целей // Математические структуры и моделирование. 2002. Вып. 10. С. 53–64.
- [40] *Гуц А.К., Добренко М.А.* Математическая модель и оптимальное управление ценовой политикой торгового предприятия // Математические структуры и моделирование. 2002. Вып. 10. С. 65–76.
- [41] *Гуц А.К.* Математика, компьютер и модели общества // Компьютерра. 2003. №38 (513).
- [42] *Гуц А.К.* Основы квантовой кибернетики: учебное пособие. Омск: Полиграфический центр КАН, 2008. 204 с.
- [43] *Гуц А.К.* Архитектура, процессор и работа квантового компьютера // Математические структуры и моделирование. 2010. Вып. 21. С. 55–64.
- [44] *Гуц А.К., Семенов В.М., Нескребой Н.Н.* Компьютерное моделирование в стоматологии // Информационные технологии и автоматизация управления: материалы II Межвузовской научно-практической конференции. Омск: ОмГТУ, 2010. С. 95–97.
- [45] *Гуц А.К. и др.* Математическое обоснование к использованию корней фронтальных зубов, разрушенных ниже уровня десны, под штифтовые конструкции. Деп. в ВИНТИ 21.06.95. №1790-B95.
- [46] *Гуц А.К. и др.* Математическое обоснование к использованию культевой штифтовой вкладки с «воротничком» при разрушении корней зубов ниже уровня десны // Вестник Омского университета. 1996. №2. С. 17–19.

- [47] *Гуц А.К. и др.* Методические подходы при использовании корней фронтальных зубов, разрушенных ниже уровня десны, для протезирования (хирургические и терапевтические мероприятия, особенности формирования культи корня зуба и получения оттисков, технология штифтовых конструкций): рекомендации для врачей-стоматологов, интернов и студентов. Омск: Омская гос. мед. академия, 1996. 20 с.
- [48] *Гуц А.К., Володченко Л.А.* Кибернетика катастроф лесных экосистем. Омск: Изд-во КАН, 2012. 220 с.
- [49] *Гуц А.К., Володченко Л.А.* Защита леса как стратегическая игра // Математические структуры и моделирование. 2013. Вып. 28. С. 43–48.
- [50] *Гуц А.К., Дружинин А.Г.* Информационно-аналитический модуль долгосрочного диспансерного наблюдения пациентов, перенесших инфаркт миокарда // Вестник Омского университета. 2013. Вып. 4. С. 213–216.
- [51] *Гуц А.К., Важный Т.В.* Теория игр и защита компьютерных систем: учебное пособие. Омск: Изд-во ОмГУ, 2013. 160 с.
- [52] Динамика природных сообществ // Биология: электронный учебник. URL: <http://www.ebio.ru/eko07.html>.
- [53] *Дрешер М.* Стратегические игры. Теория и приложения. М.: Советское радио, 1964.
- [54] *Егоров П. В., Лысенко Ю.Г. и др.* Экономическая кибернетика. Донецк: Юго-Восток, 2003. 510 с.
- [55] *Журавлев Ю.И.* Об алгебраическом подходе к решению задач распознавания и классификации // Проблемы кибернетики. 1978. Вып. 33. С. 5–68.
- [56] *Зеликман Э.А.* Нетрофические регуляторные взаимоотношения у морских беспозвоночных // Биология Океана. Т. 2. М.: Наука, 1977. С. 23–33
- [57] *Зыкина А.В.* Кибернетика: конспект лекций. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2005. 28 с.
- [58] *Иванов В.В.* Очерки по истории семиотики в СССР. М.: Наука, 1976. 298 с.
- [59] История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде) / Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН. Выпуск 3. СПб.: Наука: Анатолия, 2012. 216 с.
- [60] *Кавинкина И.Н.* Основы семиотики. Гродно: Изд-во ГрГУ, 2011.
- [61] *Канторович Л.В., Горстко А.Б.* Оптимальные решения в экономике. М., 1979.

- [62] *Карпов М.* Российские суперкомпьютеры (современность) // Product Manager at Yandex on Jun 04, 2010.
- [63] Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная. М.: Наука, 1968. 312 с.
- [64] *Коршунов Ю.М.* Математические основы кибернетики. М.: Энергия, 1980. 424 с.
- [65] *Крайзмер Л.П.* Кибернетика: учебное пособие для студ. с.-х. вузов по экон. спец. М.: Агропромиздат, 1985.
- [66] *Красовский А.А.* Исторический очерк развития и состояния теории управления // Современная прикладная теория управления. Часть 1. Таганрог: Изд-во ТРГУ, 2004.
- [67] *Кузин Л.Т.* Основы кибернетики. Т. 1. М.: Энергоиздат, 1994. 576 с.
- [68] *Кузин Л.Т.* Основы кибернетики. Т. 2. М.: Энергия, 1979. 584 с.
- [69] *Кулаков Ю.И., Владимиров Ю.С., Карнаузов А.В.* Введение в теорию физических структур и бинарную геометрофизику. М.: Архимед, 1991.
- [70] *Лагоша Б.А.* Оптимальное управление в экономике. М.: Финансы и статистика, 2003. 192 с.
- [71] *Лазарева Т. Я., Мартемьянов Ю.Ф.* Основы теории автоматического управления: учебное пособие. Тамбов: Изд-во Тамбов. гос. техн. ун-та, 2004. 352 с.
- [72] *Лазебник В.М.* Экономическая кибернетика. Симферополь, 2008. 253 с.
- [73] *Лежачус Э.* Информационный статус экосистемы // Экологический прогноз. М., 1986. С. 7–9.
- [74] *Леонов В.В.* Современные проблемы информатики. Введение в семиотику информационных технологий. Томск: Изд-во НТЛ, 2011. 248 с.
- [75] *Лефевр В.* Что такое одушевленность? М.: Когито-Центр, 2013. 125 с.
- [76] *Луман Н.* Социальные системы. Очерк общей теории. СПб.: Наука, 2007. 648 с.
- [77] *Манин Ю.И.* Вычислимое и невычислимое. М.: Советское радио, 1980.
- [78] *Манин Ю.И.* Классическое и квантовое вычисление и факторизация Шора / Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Ижевск, 2001.
- [79] *Маршалкович А.С., Афонина М.И., Алешина Т.А.* Экология: контекст лекций. М.: МГСУ, 2009.
- [80] *Матурана У., Варела Ф.* Древо познания. М.: Прогресс-Традиция, 2001. 224 с.

- [81] *Мелехов И.С.* Лесоведение: учебник для вузов. М.: Лесн. пром-сть, 1980. 408 с.
- [82] *Мельников В.Н., Мельников А.В.* Рыбохозяйственная кибернетика. Астрахань: Изд-во АГТУ, 1998. 310 с.
- [83] *Мельников В.Н.* Организм и надорганизменные образования как биокрибернетические системы // Вестник АГТУ. Сер. Рыбное хоз-во (Астрахань). 2009. №1. С. 7–9.
- [84] *Милов А.В., Тимохин В.Н., Черноус Г.А.* Экономическая кибернетика. Донецк: Изд-во Донецкого нац. ун-та, 2004. 105 с.
- [85] *Моисеев Н.Н.* Бронислав Трентовский и возникновение кибернетики // Моисеев Н.Н. Люди и кибернетика. М.: Молодая гвардия, 1984.
- [86] *Нестеров В.Г.* Кибернетика живой природы: монография. М.: Гослесбумиздат, 1962. 62 с.
- [87] *Нестеров В.Г.* Кибернетика живой природы и ее значение для распознавания места и времени прохождения событий // Проблемы экспертизы растительных объектов. М., 1972. С. 12–14.
- [88] *Нестеров В.Г.* Вопросы управления природой. М.: Лесн. пром-сть, 1981. 263 с.
- [89] *Онопrienко Ю.И.* Биологические информационные системы (Логико-методологический аспект). Владивосток: Дальнаука, 1988. 124 с.
- [90] *Орлов А.И.* Теория принятия решений: учебное пособие. М.: Издательство «Март», 2004.
- [91] *Отоцкий Л.* Стаффорд Бир и перспективы ИТ // Компьютерра. 2003. №36.
- [92] *Поваров Г.Н.* Норберт Винер и его «Кибернетика» (от редактора перевода) // Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М., 1983. С. 5–28.
- [93] *Полетаев И.А.* Сигнал. О некоторых понятиях кибернетики. М.: Радио, 1958. 412 с.
- [94] *Прилуцкий А.Н.* Современная фитоценология: проблемы и решения // Бюллетень Ботанического сада института ДВО РАН. 2007. Вып. 1(1). С. 5–23.
- [95] *Прилуцкий А.Н.* Информационный подход к изучению фитоценозов // Бюллетень Ботанического сада института ДВО РАН. 2010. Вып. 6. С. 3–13.
- [96] *Редько В.Г.* Эволюционная кибернетика. М.: Наука, 2001.
- [97] *Розанова Л.В.* Основы кибернетики: конспект лекций. Омск: Изд-во ОмГТУ, 2009. 60 с.

- [98] Семиотика: учебное пособие к лекционным занятиям для студентов специальности «Теоретическая и прикладная лингвистика» / сост. И.В. Арзамасцева. Ульяновск: УлГТУ, 2009. 89 с.
- [99] *Соболев С.Л., Китов А.И., Ляпунов А.А.* Основные черты кибернетики // Вопросы философии. 1955. №4.
- [100] *Теслер Г.С.* Новая кибернетика. Киев: Логос, 2004. 401 с.
- [101] Техническая кибернетика. Теория автоматического регулирования. Книга 1. М.: Машиностроение, 1967.
- [102] *Торгашев В.А.* Автоматные сети и компьютеры: история развития и современное состояние // История информатики и кибернетики в Санкт-Петербурге (Ленинграде) / Санкт-Петербургский институт информатики и автоматизации РАН. Выпуск 3. СПб.: Наука: Анатолия, 2012. С. 46–66.
- [103] *Трентовский Б.* Отношение философии к кибернетике как искусству управления народом. Познать, 1843.
- [104] *Тураринов В.П., Майстров Л.Е.* Против идеализма в математической логике // Вопросы философии. 1950. №3. С. 331–339.
- [105] *Турчин В.Ф.* Феномен науки: Кибернетический подход к эволюции. М.: ЭТС. 2000. 368 с.
- [106] *Тьюринг А.* Может ли машина мыслить? М.: ГИФМЛ, 1960.
- [107] *Фейгин О.* Мир кибернетики. Кибернетические этюды об ответственном разуме. М.: Ранок, 2013.
- [108] *Фейнман Р.* Моделирование физики на компьютерах // Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Ижевск, 1999. С. 96–124.
- [109] *Фейнман Р.* Квантовомеханические компьютеры // Квантовый компьютер и квантовые вычисления. Ижевск, 1999. С. 125–156.
- [110] *Фет Я.И.* Рассказы о кибернетике. Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2007. 178 с.
- [111] *Филлимонов В.А.* Алгебра логики и совести. Омск: Изд-во ОГИС, 2006. 72 с.
- [112] *Фрадков А.Л.* Кибернетическая физика. СПб.: Наука, 2003.
- [113] *Фрадков А.Л.* О применении кибернетических методов в физике // Успехи физ. наук. 2005. Т. 175. №2. С. 113–138.
- [114] *Холеево А.С.* Введение в квантовую теорию информации. М.: МЦНМО, 2002.
- [115] *Хорган Дж.* Конец науки. СПб.: Амфора, 2001. 479 с.
- [116] *Хьювёнен Э., Сеппянен И.* Мир Лиспа. Т. 1. М.: Мир, 1990.
- [117] *Черноруцкий И.Г.* Методы принятия решений. СПб.: БХВ-Петербург, 2005. 416 с.

- [118] *Черныш В.И.* Введение в экологическую кибернетику. М.: ЦАО, 1990. 568 с.
- [119] *Чуйко А.Н.* О возможностях конечно-элементного моделирования в ортопедической стоматологии // Стоматолог. 2000. №3. С. 37–38.
- [120] *Шарапов О.Д. и др.* Экономическая кибернетика. Киев: КНЭУ, 2005. 231 с.
- [121] *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. Москва: Иностранная литература, 1963. 830 с.
- [122] *Шмальгаузен И.И.* Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск: Наука. Сибирское отделение, 1968.
- [123] *Шпак Г.* Куда «исчезла» кибернетика? // Наука в Сибири. 2007. №37 (2622).
- [124] Шрёдингер Э. Что такое жизнь с точки зрения физики? М.: Изд-во иностр. лит-ры, 1946.
- [125] *Энгельс Ф.* Происхождение семьи, частной собственности и государства // Маркс К., Энгельс Ф. Сочинения. М., 1961. Т. 21.
- [126] *Энгельс Ф.* Диалектика природы. М.: Изд-во политической литературы, 1975.
- [127] *Эшби У.Р.* Введение в кибернетику. М.: ИЛ, 1959.
- [128] *Эшби У.Р.* Конструкция мозга. М.: ИЛ, 1962.
- [129] *Юсупов Р.М., Соколов Б.В.* Проблемы развития кибернетики и информатики на современном этапе // Кибернетика и информатика. СПб.: Издательство СПбГПУ, 2006.
- [130] *Ясницкий Л.Н.* Введение в искусственный интеллект. М.: Академия, 2008. 176 с.
- [131] *Busch J.A.* Issues in Sociocybernetics: Current Perspectives. Intersystems Publications, 1984. 139 p.
- [132] Cybernetics of Cybernetics. Sponsored by a grant from the Point Foundation to the Biological Computer Laboratory / Ed. Heinz von Foerster. Urbana/Illinois.: University of Illinois, 1974.
- [133] *Epstein J.M., Axtell R.* Growing Artificial Societies. Washington, Brookings Institution Press, 1996.
- [134] *Glushkov V., Ignatyev M., Myasnikov V., Torgashev V.* Recursive machines and computing technology. Proceedings of IFIP-74, Stockholm, August 5–10, 1974.
- [135] *Grossing G.* Quantum Cybernetics. Springer, 2000. 153 p.
- [136] *Heylighen F., Joslyn C.* Cybernetics and Second-Order Cybernetics // Encyclopedia of Physical Science & Technology (3rd ed.). New York: Academic Press, 2001. P. 1–24.

- [137] *Lucero E., Barends R., Chen Y., Kelly Ju., Mariani M., Megrant A., O'Malley P., Sank D., Vainsencher A., Wenner J., White T., Yin Y., Cleland A.N., Martinis J.M.* Computing prime factors with a Josephson phase qubit quantum processor. Arxiv: arXiv:1202.5707 [quant-ph]. URL: <http://arxiv.org/abs/1202.5707>.
- [138] *Lefebvre V.A.* Bipolarity, choice, and entro-field // Proc. 8th World Multi-Conference on Systemics, Cybernetics and Informatics. V. IV. 2004. P. 95–99.
- [139] *Mead, Margaret.* Cybernetics of Cybernetics / In: Purposive Systems / ed. Heinz von Foerster, et al. New York: Spartan Books, 1968.
- [140] *Müller K.* The New Science of Cybernetics. The Evolution of Living Research Designs. Volume II: Theory. Wien, 2011. 352 p.
- [141] Progress in Biological Cybernetics Research / Ed.: Daan A. Dejong. Nova Science Pub Inc, 2007.
- [142] *Schrödinger E.* What is Life? The Physical Aspect of the Living Cell. London, 1951.
- [143] *Scott B.* Explorations in Second-Order Cybernetics. Reflections on Cybernetics, Psychology and Education. Wien, 2011. 693 p.
- [144] Sociocybernetics, Complexity, Autopoiesis, and Observation of Social Systems / F. Geyer, Van der Zouwen J. (eds.). Westport: Greenwood Press, 2001.
- [145] *Torshin Ivan Y.* Bioinformatics in the Post-Genomic Era: The Role of Biophysics. Novapublishers, 2006.
- [146] *Turing A.* Computing Machinery and Intelligence // Mind. 1950. V. 59. P. 433–460.
- [147] *Umpleby S.A.* The cybernetics of conceptual systems. A paper prepared for the Institute for Advanced Studies, 1994. URL: http://www.gwu.edu/~umpleby/Conceptual_Systems.txt.
- [148] *Von Glasersfeld E.* The Construction of Knowledge, Contributions to Conceptual Semantics. Seaside: Intersystems Publications, 1987.
- [149] *Wiener N.* Cybernetics: or Control and Communication in the Animal and the Machine. Cambridge, MA: MIT Press, 1948.
- [150] *Yolles M.* The political cybernetics of organisations // Kybernetes. 2003. V. 32. No. 9/10. P. 1253–1282.

Учебное издание

Александр Константинович Гуц

КИБЕРНЕТИКА

Учебное пособие

Редактор О.М. Азеева

Сертификат соответствия № РОСС RU.АЕ88.Н01449

Срок действия с 26.07.2012 г. по 25.07.2015 г.

Подписано в печать 11 2014.

Формат 60 × 84 1/16. Печ. л. 11,7. Усл. печ. л. 10,9. Уч.-изд. л. 9,0.

Тираж 120 экз.

Издательство Омского государственного университета

644077, Омск-77, пр. Мира, 55а

Отпечатано на полиграфической базе ОмГУ

644077, Омск-77, пр. Мира, 55а