

**Кибернетика мышление жизнь**

**Кибернетика  
мышление  
жизнь**





# **Кибернетика Мышление Жизнь**



ИЗДАТЕЛЬСТВО  
СОЦИАЛЬНО-ЭКОНОМИЧЕСКОЙ  
ЛИТЕРАТУРЫ  
«МЫСЛЬ»

Москва . 1964

Под редакцией

А. И. БЕРГА, Б. В. БИРЮКОВА, И. Б. НОВИКА,  
И. В. КУЗНЕЦОВА, А. Г. СПИРКИНА



## ОТ РЕДАКТОРОВ КНИГИ

Кибернетика как область знания и практической деятельности приобрела в настоящее время весьма важное значение. Она привлекает внимание специалистов многих отраслей науки, техники и народного хозяйства — математиков, физиков, биологов, медиков, психологов, лингвистов, экономистов, инженеров и др. Поэтому понятен растущий интерес к мировоззренческим и методологическим проблемам, выдвигаемым развитием кибернетики. Этим проблемам неоднократно посвящались книги и статьи как философов, так и специалистов в области конкретных наук, они обсуждались на конференциях и совещаниях.

Значительную роль в разработке философских проблем кибернетики сыграла Теоретическая конференция философских (методологических) семинаров по философским вопросам кибернетики, состоявшаяся летом 1962 г. Конференция была организована Научным советом по кибернетике и Научным советом по философским проблемам современного естествознания при Президиуме АН СССР совместно с партийным комитетом Президиума Академии. На конференции состоялось содержательное обсуждение ведущих философских проблем кибернетики.

Настоящая книга подготовлена в соответствии с решением конференции и на основе ее материалов. Однако предлагаемая вниманию читателей коллективная монография не представляет собой стенограммы конференции. Она является результатом большой работы авторского коллектива, осуществленной специально для данного издания.

Книга открывается статьей академика А. И. Берга «Кибернетика и строительство коммунизма». Далее следует вводная статья группы членов Бюро секции философских вопросов кибернетики Научного совета по кибернетике и Научного совета по философским проблемам современного естествознания Л. Б. Баженова, Б. В. Бирюкова, И. Б. Новика, А. Г. Спиркина,

В. С. Тюхтина. Материалы книги располагаются по четырем разделам: 1) кибернетика как наука; 2) кибернетика и жизнь; 3) кибернетика и изучение познавательных психических процессов; 4) кибернетика и вопросы логики и методологии научного исследования — и с той или иной мерой полноты характеризуют основную философскую проблематику кибернетики.

Книга является воплощением содружества философов и специалистов в конкретных науках — математиков, логиков, биологов, психологов и других, работающих в области кибернетики и ее приложений. Книга рассчитана на специалистов в указанных областях знания и на широкие круги читателей, интересующихся философскими проблемами кибернетики.

В предлагаемой вниманию читателя книге представлена значительная часть отечественных исследователей, занимающихся методологическими вопросами кибернетики. В книге отражены точки зрения по ряду сложных проблем развития кибернетики.

Общим для всех работ, представленных в данной книге, является то, что их авторы исходят в своем анализе методологических проблем кибернетики из принципов диалектического и исторического материализма. Вполне естественно, что авторы не претендуют на окончательное решение рассматриваемых проблем. Напротив, авторский коллектив исходит из убеждения, что данная книга будет служить дальнейшему углублению исследований различных философских проблем кибернетики, в области которых в настоящее время идут оживленные дискуссии.

Подготовка настоящей коллективной монографии осуществлялась секцией философских вопросов кибернетики Научного совета по философским проблемам современного естествознания и Научного совета по кибернетике при Президиуме АН СССР при участии работников сектора философских вопросов современного естествознания Института философии АН СССР. Помощь в подготовке книги своими отзывами о труде в целом или об отдельных его частях оказали И. А. Акчурин, П. К. Анохин, А. Н. Захаров, А. Н. Леонтьев. При подготовке отдельных материалов книги редакторам помогали А. А. Коноплинкин, И. И. Ляхов, Х. Ш. Маргулис, В. Н. Свиницкий, Н. Г. Чичерина. Большая работа по подготовке рукописи к печати была проведена И. В. Достовой. Редакторы пользуются случаем, чтобы поблагодарить названных лиц.

А. И. БЕРГ

## **Кибернетика и строительство коммунизма**

Кибернетика — наука об управлении сложными динамическими системами и процессами — за последние годы стала одной из самых популярных отраслей знания. Сейчас вряд ли можно найти такую область человеческой деятельности, которая в той или иной степени не была бы связана или не готовилась к более тесному соприкосновению с этой наукой. Кибернетика все больше проникает в различные отрасли производства и в сферу научных исследований. Поэтому не удивительно, что выдвинутые кибернетикой философские проблемы привлекают все большее внимание нашей научной общественности.

На протяжении последних лет методологические и мировоззренческие вопросы кибернетики неоднократно рассматривались в научных работах — в книгах и статьях философов и специалистов-кибернетиков, обсуждались на отдельных совещаниях, конференциях, симпозиумах. Можно назвать довольно много научных и научно-популярных статей в журналах «Коммунист», «Вопросы философии», «Техника молодежи» и других, посвященных философским и общетеоретическим проблемам кибернетики. В 1961 г. Издательство социально-экономической литературы выпустило сборник «Философские вопросы кибернетики», включивший в себя статьи тринадцати авторов<sup>1</sup>. Кроме того, вышло много отдельных работ по общим и частным вопросам философской проблематики кибернетики<sup>2</sup>.

Значительное внимание было уделено этой проблематике и за границей, причем было бы совершенно неправильным

---

<sup>1</sup> См. «Философские вопросы кибернетики», М., 1961.

<sup>2</sup> Из самых последних работ такого рода можно отметить книгу И. Б. Новика «Кибернетика. Философские и социологические проблемы», М., 1963.

относить все без исключения книги и статьи, содержащие изложение точек зрения различных зарубежных авторов, пишущих по философским вопросам кибернетики, к идеализму, механицизму и другим направлениям, противоположным диалектическому материализму. Прежде всего следует отметить большое внимание к этим проблемам в дружественных социалистических странах. Но и в капиталистических странах все чаще начинают звучать трезвые голоса, к которым нам нельзя не прислушиваться. Наша коммунистическая идеология, диалектико-материалистическое мировоззрение, наша великая цель — построение коммунистического общества — и пути ее реализации находят все большее понимание среди ученых, передовой интеллигенции и рабочих капиталистического мира. С особенной силой это проявилось после опубликования исторических документов, принятых XXII съездом Коммунистической партии Советского Союза.

На многочисленных научных конференциях, совещаниях, симпозиумах и семинарах, посвященных отдельным вопросам кибернетики, которые проходили за последний год в Советском Союзе, постоянно возникали философские вопросы, вызывающие оживленные дискуссии. Если, например, коснуться только биологии и медицины и проблем использования в них возможностей, достижений и методов кибернетики, то следует упомянуть симпозиум, происходивший в конце 1961 г. в Тбилиси; сессию отделения биологических наук АН СССР, посвященную биологическим аспектам кибернетики (апрель 1962 г.)<sup>1</sup>; II Всесоюзную конференцию по применению радиоэлектроники в биологии и медицине (г. Ленинград, 24—28 апреля 1962 г.); совещание по философским вопросам физиологии высшей нервной деятельности и психологии, проведенное в мае 1962 г. Институтом философии АН СССР; I Всесоюзную конференцию по теории и практике построения самонастраивающихся систем (10—14 декабря 1963 г.). На этих совещаниях происходили обсуждения серьезных методологических и мировоззренческих вопросов кибернетики, требующих дальнейшей разработки.

Наибольшее значение среди этих совещаний и конференций с интересующей нас точки зрения имела теоретическая конференция философских (методологических) семинаров по философским вопросам кибернетики, которая состоялась 1—2 июня 1962 г. в Москве.

---

<sup>1</sup> На основе докладов и сообщений, сделанных на этой сессии, подготовлен и опубликован сборник «Биологические аспекты кибернетики», М., 1962.



На конференции присутствовало свыше 1000 человек из тридцати крупнейших промышленных и научных центров страны. В числе участников конференции были математики и физики, философы и психологи, биологи и медики, инженеры-конструкторы, специалисты по электронно-вычислительной технике, представители различных предприятий и учебных заведений. Конференция явилась первым широким обсуждением основных философских вопросов кибернетики. Фактически это было первое широкое всесоюзное совещание по этой проблематике, проведенное в нашей стране. Именно поэтому Оргкомитет конференции, в который входил и автор этих строк, не ставил задачи заранее регламентировать тематику докладов, считая, что на данной стадии работы целесообразно предоставить слово по возможности довольно широкому кругу докладчиков, которые выступали бы по различным темам, интересующим их и представляющим вместе с тем общий интерес. В работе конференции активное участие приняла секция философских вопросов кибернетики Научного совета по кибернетике и Научного совета по философским проблемам современного естествознания при Президиуме АН СССР, председатель которой А. Г. Спиркин предложил вниманию участников конференции план работы секции.

Поскольку настоящий труд вырос из работ этой конференции, целесообразно остановиться на ее работе более подробно.

Как известно, любая наука изучает закономерности явлений и процессов, с тем чтобы объяснить их и предсказать их развитие в будущем. Кибернетика изучает общие закономерности процессов, происходящих в сложных динамических системах при их переходе из одного состояния в другое независимо от того, какова физическая или социальная природа самой системы. Кибернетика обобщает закономерности управления, происходящие в живой природе, в человеческом обществе, в промышленности. Ею изучаются общие закономерности, приводящие к достижению поставленной цели наименее выгодным, оптимальным путем.

Своеобразие кибернетики как науки, — имеющей применение в самых различных областях, в которых имеют место процессы управления и оптимизации, — обуславливает интерес к определению ее предмета. Хотя термин *кибернетика* употребляется уже достаточно долго, все еще прилагаются усилия для его уточнения. Предмету кибернетики посвятил свой доклад на конференции А. А. Марков, который предложил воспользоваться для этого новым понятием причинных сетей и определил кибернетику как общую теорию причинных сетей, изучаю-

щую их с точностью до изоморфизма<sup>1</sup>. А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский остановились на основных теоретических проблемах кибернетики, представляющих общий интерес<sup>2</sup>. Значительный интерес вызвал доклад А. А. Ляпунова об управляющих системах живой природы<sup>3</sup>. Здесь было высказано много новых и интересных мыслей, являющихся дальнейшим развитием идей докладчика в этой области. А. А. Ляпунов отметил достижения последнего времени в изучении процессов передачи наследственной информации. Его мысли вызвали дискуссию, которая продолжается по сие время и будет, видимо, происходить в будущем. Однако внедрение новых методов исследования в область биологии, ее математизация и «кибернетизация», использование новых, точных и объективных методов сбора первичной информации о структуре и функциях систем живой природы помогут ускорению выяснения важнейших биологических закономерностей, вокруг которых возникает много споров вследствие недостаточной эффективности применяемых теоретических и экспериментальных методов.

В докладах и дискуссии по ним на конференции участвовало много философов. Значительный интерес вызвал доклад И. Б. Новика о природе информации и особенностях кибернетического моделирования<sup>4</sup>. Следует с удовлетворением отметить активное участие психологов в докладах и дискуссиях по философским проблемам кибернетики. А. Н. Леонтьев говорил о некоторых особенностях переработки информации человеком<sup>5</sup>. Е. Н. Соколов доложил о результатах исследования процессов моделирования свойств раздражителя нервной системой<sup>6</sup>. Психологи привели новые интересные экспериментальные данные. Эти доклады подтвердили целесообразность тесного сотрудничества между специалистами-кибернетиками и психологами. Такое сотрудничество в настоящее время с успехом осуществляется в секции «Кибернетика и психология» Научного совета по кибернетике при Президиуме АН СССР.

---

<sup>1</sup> См. А. А. Марков, Что такое кибернетика? (настоящее издание).

<sup>2</sup> См. А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский, О теоретических проблемах кибернетики (настоящее издание).

<sup>3</sup> См. А. А. Ляпунов, Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов. «Проблемы кибернетики», вып. 10, 1963.

<sup>4</sup> Основные положения доклада И. Б. Новика отражены в его статье «К вопросу о единстве предмета и метода в кибернетике» (настоящее издание).

<sup>5</sup> См. А. Н. Леонтьев и Е. П. Кринчик, Проблемы переработки информации человеком (настоящее издание).

<sup>6</sup> См. Е. Н. Соколов, О моделирующих свойствах нервной системы (настоящее издание).

Техническими средствами кибернетики являются приборы и устройства электронной автоматики, в частности электронные машины разных типов. Так как современные электронные цифровые машины могут выполнять с огромной скоростью вычислительные и логические операции, естественно возникает вопрос, в каком направлении будут в дальнейшем развиваться эти машины и каковы их возможности по сравнению с физиологическими и психическими свойствами человека. В этом плане большой интерес вызвал доклад В. М. Глушкова «Мышление и кибернетика»<sup>1</sup>. Доклад на такую тему, естественно, вызывал большие споры. В. М. Глушков отметил, что в принципе любые формы человеческого мышления могут моделироваться в искусственно создаваемых кибернетических системах. Вопрос о том, может ли машина быть «умнее» своего создателя — человека, при этом следует рассматривать диалектически. Из умения человека обучить чему-либо машину (задать ей программу) не обязательно вытекает, что человек сам может выполнить эту программу. В результате машина оказывается способной открывать новые факты, неизвестные ее создателю. В дальнейшем все более и более значительная часть закономерностей окружающего нас мира будет познаваться с помощью автоматических помощников человека. Однако все наиболее важное в процессах мышления и познания всегда будет уделом человека.

А. А. Фельдбаум<sup>2</sup> говорил о процессах обучения людей и автоматов. В то время как целью обучения человека является накопление определенной суммы знаний для самостоятельного наблюдения, мышления и труда, цели обучения автоматов несравненно уже: они ограничены узкими рамками выполнения определенных заданий.

Л. Н. Ланда сделал доклад на тему «Кибернетика и некоторые пути рационализации обучения»<sup>3</sup>. Быстрое развитие науки и техники требует подготовки большого количества квалифицированных кадров, обладающих обширными познаниями. Необходимое для этого время непрерывно растет, и за последние годы все резче проявляется противоречие между темпами научного и технического прогресса, с одной стороны, и темпами подготовки кадров — с другой. Уже давно делаются попытки

---

<sup>1</sup> См. В. М. Глушков, Мышление и кибернетика. «Диалектика в науках о неживой природе», М., 1964.

<sup>2</sup> См. А. А. Фельдбаум, Процессы обучения людей и автоматов (настоящее издание).

<sup>3</sup> Основные положения доклада Л. Н. Ланды изложены в его статье «О кибернетическом подходе к теории обучения», опубликованной в журнале «Вопросы философии» № 9, 1962.

исправить это несоответствие. В этом направлении имеются известные успехи, но все-таки задача не решается удовлетворительно. Работы последних лет привели к развитию новой науки о программированном обучении, предполагающем использование обычных или специальных кибернетических машин. Это обещает повысить в значительной мере эффективность обучения и выиграть время. Например, уже сейчас весьма несложное кибернетическое устройство может помочь учащимся в приобретении грамматических навыков. При этом новые программные методы (имеются в виду оптимальные программы) не вытеснят преподавателя из педагогического процесса, но видоизменяют его труд, повысят его методический уровень. В конечном счете обучать учащихся будет не машина, а методист и преподаватель с помощью машины, поскольку программа работы будет составляться ими. Эти проблемы привлекают все большее внимание у нас и за границей. По-видимому, использование методов программированного обучения с применением обучающих машин является наиболее перспективным для выигрыша времени и повышения качества обучения на ближайшие годы.

На конференции было немало интересных выступлений и прениях. Всего на ней выступило около сорока человек.

Какие вопросы привлекли наибольшее внимание участников конференции? Пожалуй, больше всего споров велось вокруг вопроса о том, возможно ли создание так называемых мыслящих машин. Я лично не считаю этот вопрос главным. Человек давно пользуется природными источниками энергии для компенсации своих сравнительно слабых физических сил. Ограниченность возможностей мозга также давно осознана человеком, и он непрерывно создает новые, более эффективные средства для переработки информации. Но эти устройства, в том числе современные электронные машины, не трудятся в том смысле, в каком трудится человек: они лишь работают, выполняя волю и задания человека. Основой же любого прогресса является человеческий труд, выполняемый в организованном обществе. Именно человеческий труд привел к развитию мышления. Целенаправленная воля мыслящего человека заставляет работать мощные электростанции и машины, она же заставляет электронные машины выполнять множество вычислительных и логических операций. Основной проблемой является повышение эффективности человеческого труда — научного, организационного и производственного; при этом решающее значение приобретает фактор времени, о чем будет подробнее сказано ниже.



Главное состоит не в обсуждении гипотетических «мыслящих» машин, а в том, что в нашей стране в соответствии с Программой Коммунистической партии Советского Союза кибернетика и ее технические средства — электронные машины разных типов — призваны обеспечить быстрое повышение эффективности высокоорганизованного и целенаправленного труда во всех сферах деятельности советских людей. Это является непременным условием быстрейшего создания материально-технической базы коммунизма. Труд должен быть поставлен в наилучшие, наивыгоднейшие условия с точки зрения выигрыша времени, человеческих сил и материальных средств. Возможности кибернетики в этом отношении огромны, и они должны быть использованы. Так как создание любых материальных ценностей связано прежде всего с работой промышленности, то на повышение эффективности труда в производстве должно быть обращено особое внимание.

Кибернетические устройства находят применение в самых различных областях науки, техники, культуры. Кибернетика получает все более широкое использование при изучении закономерностей живой природы для подчинения их интересам человека. Кибернетика проникает в биологию, физиологию, медицину, сельское хозяйство. Открываются возможности ранней диагностики тяжелых заболеваний, средства кибернетики уже оказывают реальную помощь в хирургии.

Большие возможности открываются перед кибернетикой в области повышения эффективности управления быстро развивающимся народным хозяйством, в области обеспечения непрерывного оптимального планирования. Это вызывает необходимость значительного повышения масштабов использования новых математических методов в экономике. К сожалению, несмотря на прямые указания и решения партийных и государственных органов по этому вопросу, темпы проникновения и использования новых математических методов и технических средств кибернетики в экономической сфере еще не могут нас удовлетворить. Консерватизм и догматизм в экономике становятся серьезным препятствием для повышения эффективности труда советских людей, несмотря на то что давно понято и признано, что именно в организованном социалистическом государстве имеются наиболее благоприятные условия для этого. К сожалению, на конференции философские проблемы в области экономической науки почти не затрагивались<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Подробные обзоры Теоретической конференции по философским вопросам кибернетики см. в статьях «Конференция по философским вопросам кибернетики», «Вопросы философии» № 11, 1962; «Конференция

Конференция привела к сближению взглядов философов и специалистов, работающих в различных областях кибернетики, к их лучшему взаимопониманию. На ней было принято развернутое решение, в котором была намечена программа исследований в области методологических вопросов кибернетики; выделены пути дальнейшего расширения применений кибернетики в различных областях науки, техники и производства<sup>1</sup>; определены конкретные направления работы секции философских вопросов кибернетики Научного совета по кибернетике и Научного совета по философским проблемам современного естествознания АН СССР.

Настоящая коллективная монография, толчок к созданию которой дала Теоретическая конференция по философским вопросам кибернетики, отражает вместе с тем ту работу в области методологических и мировоззренческих проблем кибернетики, которая развернулась уже после этой конференции. Дальнейшее развертывание методологической работы в области кибернетики, несомненно, поможет нам ускорить использование возможностей и достижений этой науки во всех областях деятельности советских людей.

\* \* \*

Перед советской наукой поставлены исключительно важные и серьезные задачи, которые должны быть выполнены в чрезвычайно короткое время в соответствии с Программой Коммунистической партии Советского Союза и решениями XXII съезда партии. Это значит, что эффективность труда советских ученых должна быть повышена во много раз, что продолжать работать старыми темпами нельзя и что в борьбе за новые формы, новую организацию труда, повышение его эффективности, за научный и технический прогресс нам предстоит преодолеть косность, консерватизм, догматизм и другие отрицательные свойства, проявляемые отдельными учеными — биологами, психологами, лингвистами, инженерами — и администраторами и т. д. Здесь исключительный вред приносит нам то, что некоторые научные работники скептически относятся к новому. Недостаточное развитие новых направлений часто связано с элементами косности, с нежеланием и боязнью ломать уже сложившиеся представления, преодолевать старое.

---

по философским проблемам кибернетики», «Проблемы кибернетики», вып. 9, М., 1963.

<sup>1</sup> Полный текст решения конференции опубликован в журнале «Вопросы философии» № 11, 1962.

Законом развития науки является постоянная тенденция к совершенствованию научных теорий, все более глубокому проникновению в реальные объекты, поэтому надо постоянно совершенствовать даже самое совершенное на данный период. Ведь с течением времени, с развитием науки и техники, которая никогда не находится в состоянии покоя, даже самое современное устаревает.

Я думаю, что этот диалектический тезис полностью относится к работникам всех областей человеческого созидательного труда — производства, науки, плановых органов, сельского хозяйства.

Кибернетика — это наука об управлении сложными процессами. Но именно в социалистическом государстве, развивающем мощную промышленность, базирующуюся на достижениях науки и техники, ломающем старое, не оправдавшее себя в различных областях, приходится организовывать труд людей и направлять его на решение все более сложных задач, причем времени для этого очень мало. Это и есть управление сложными процессами; достижения и возможности новой науки об управлении — кибернетики должны быть полностью использованы.

Может возникнуть вопрос: в состоянии ли наука помочь решению важнейших задач по повышению эффективности управления? Повышение эффективности управления означает повышение эффективности труда советских людей. Любая наука может успешно развиваться только в том случае, если существует реальная потребность в ее достижениях и развитии ее возможностей. Вся история советской науки, социалистического народного хозяйства и нашего государства в целом дает многочисленные примеры успешной помощи науки в решении важнейших проблем, выдвинутых развитием социалистического общества, в удовлетворении потребностей и запросов страны.

Программа нашей партии, направленная на созидание коммунистического общества, построена с учетом этого факта. Особое место в Программе уделено развитию науки. Цель исследований в области естественных и общественных наук — изыскание оптимальных путей построения коммунистического общества. В Программе КПСС говорится: «Коммунистическое общество, в отличие от всех предшествующих социально-экономических формаций, складывается не стихийно, а в результате сознательной и целенаправленной деятельности народных масс, руководимых марксистско-ленинской партией»<sup>1</sup>. В организации этой целенаправленной деятельности масс, руководимой Коммунистической партией, большое место принадлежит

---

<sup>1</sup> «Материалы XXII съезда КПСС», М., 1962, стр. 424.

науке. Все науки в нашей стране служат делу коммунистического строительства. Кибернетика также поставлена на службу коммунизму.

Я хочу это особенно подчеркнуть во вступительной статье в книге по философским вопросам кибернетики. Ведь именно среди философов и представителей гуманитарных наук одно время выражалось опасение по поводу того, что кибернетика — наука об общих закономерностях процессов управления в природе, в человеческом обществе и на производстве — имеет будто бы «сенсационные претензии» подменить или заменить все другие науки. При этом высказывались даже опасения за потрясение основ диалектического материализма, так как некоторые авторы, стоя сами на весьма шатких философских позициях, приписывали эту слабость и нашей диалектико-материалистической философии. Эти опасения, конечно, не оправдались. Мало того, партия, отлично разбирающаяся в том, что важно и что второстепенно, сознавая свои силы и неизбежность идеологических основ, на которых строится коммунизм, обязывает всех нас организовать широкое применение кибернетики, электронных счетно-решающих и управляющих устройств в производстве, научно-исследовательских работах, проектно-конструкторской практике, плановых расчетах, в сфере учета, статистики и управления.

К XXII съезду нашей партии именно для рассеивания некоторых сомнений о мнимых «претензиях» кибернетики был издан специальный сборник под названием «Кибернетику — на службу коммунизму»<sup>1</sup>. В нем имеется ряд статей, подтверждающих возможность и необходимость использования при строительстве коммунистического общества средств новой науки об управлении сложными процессами — кибернетики. Как редактор этого сборника, я считаю, что авторский коллектив его стоит на правильных научных позициях. Однако мы всегда готовы учиться. Мы придерживаемся в этом смысле той же позиции, которую занимал И. В. Мичурин, когда писал: «Мои последователи должны опережать меня, противоречить мне, даже разрушать мой труд, в то же время продолжая его. Из только такой последовательно разрушаемой работы и создается прогресс»<sup>2</sup>.

Конечно, критика в адрес тех, кто активно работает, должна быть конструктивной, продиктованной заботами о дальнейшем развитии отечественной науки. Что касается все еще встречающихся иногда отдельных попыток ревизии основ, целей и ме-

---

<sup>1</sup> См. «Кибернетику — на службу коммунизму», т. I, М. — Л., 1961.

<sup>2</sup> И. В. Мичурин, Соч., т. IV, стр. 402.



тодов кибернетики, а также областей ее практического применения, то они получают серьезный отпор, если авторы этих попыток будут руководствоваться в своей критике не теми задачами, которые ставит перед нами наша партия, а личными интересами и стремлением замаскировать собственные ошибки, собственную косность и безграмотность.

Задача заключается в том, чтобы всемерно развешивать исследования по кибернетике в нашей стране, шире внедрять методы математики и кибернетики в экономику, изучение биологических явлений, медицину и т. д. Например, сейчас создаются диагностические приборы для распознавания различных заболеваний. В биологии и медицине применение кибернетики и математики, использование электронной и другой аппаратуры идет рука об руку с использованием в них методов физики и химии. Широкий союз всех современных средств — электроники, математики, кибернетики, физики, химии — в изучении проблем жизни, жизнедеятельности, живого, широкое использование этих средств в борьбе за здоровье человека — этого требует от нас Постановление ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию биологической науки и укреплению ее связи с практикой»<sup>1</sup>. К сожалению, не все товарищи еще понимают, какое значение для развития материалистической, мичуринской, основанной на признании ведущего значения условий существования в развитии органического мира биологии имеют точные методы физики, химии, математики и кибернетики.

Важное значение имеют математика, кибернетика, электронные машины в экономических исследованиях и социалистическом планировании. Переход от социализма к коммунизму будет в значительной степени определяться качеством методов планирования. Наша задача состоит в том, чтобы перейти к оптимальному планированию. Решающую роль в этом отношении должно сыграть применение электронных машин. Вообще следует сказать, что возможности кибернетики в улучшении планирования народного хозяйства буквально неисчерпаемы. Однако эти возможности еще мало используются нашими экономистами и плановиками.

В связи с внедрением электронных машин в сферу экономики, развитием автоматизации производства и т. д. актуальным становится учет социальных аспектов применения кибернетической техники. Применение электронных вычислительных и управляющих машин при капитализме приводит к росту безработицы, обостряет противоречия буржуазного общества. Не

---

<sup>1</sup> См. «Правда», 25 января 1963 г.

следует, однако, думать, что внедрение этих машин при социализме не связано ни с какими трудностями; трудности возникают, и для их преодоления в социалистическом обществе приходится принимать необходимые меры, планомерно перераспределять рабочую силу, целесообразно размещать предприятия и т. д.

Применение кибернетики в экономике остро ставит ряд теоретических вопросов. При введении автоматизации на производстве следует исходить прежде всего из ее экономической эффективности. Автоматизацию надо вводить только там и тогда, где и когда она экономически эффективна. При этом показатели экономической эффективности должны быть объективными, что, к сожалению, не всегда учитывается. Для объективного определения экономической эффективности важнейшее значение имеют понятие оптимальной себестоимости изделий и требование их оптимальной долговечности, оптимальной надежности. Разработка методов точного определения указанных понятий и их внедрение в экономические расчеты и практику планирования являются, по моему убеждению, чрезвычайно актуальными. Надо помнить, что оптимизация — это важнейшая проблема в экономике и в ее решении веское слово должна сказать кибернетика.

Проникновение кибернетики и электронно-вычислительной техники в биологию, экономику и другие области идет рука об руку с математизацией этих областей. Развитие приложений кибернетики в нашей стране немыслимо без дальнейшего прогресса целого ряда математических дисциплин, таких, как математическая статистика, теория игр, теория вероятностей, теория оптимальных решений, математическая экономика, теория массового обслуживания и др. Жизнь требует быстрее увеличения выпуска литературы по этим и другим отраслям математики; мы нуждаемся в книгах, рассказывающих, например, как преломляются методы математической статистики в медицинской статистике, в области статистики надежности и т. п. Весьма актуальным является расширение подготовки математиков, способных работать на современных вычислительных машинах, а также усиление математической подготовки биологов, экономистов, лингвистов и специалистов других профилей. В области гуманитарных наук, например в лингвистике, в юриспруденции, в педагогике и психологии, не следует упускать из виду такой важный участок работы, как обучение специалистов основам математической логики. Изучение последней также весьма важно для философов, работающих в области философских вопросов кибернетики и методологии научного исследования.

Надо, наконец, не забывать о задаче упорядочения терминологии в области кибернетики, и в частности в области ее философских вопросов. Несогласованность и разноречивость в терминологии кибернетики затрудняют взаимное понимание ученых. Конечно, вряд ли можно надеяться чересчур быстро решить задачу уточнения понятий кибернетики. Но работу в этой области вести, безусловно, нужно.

\* \* \*

Кибернетика — это наука великих возможностей. Изучая опыт решения задач повышения эффективности управления в прошлом, учитывая огромный положительный опыт социалистического строительства в Советском Союзе и братских странах социализма, мы стараемся понять, что важно и что второстепенно в развитии этой науки и чем она может лучше всего помочь в нашей работе. В соответствии с этим я постараюсь в нескольких словах сказать, что мне кажется наиболее важным в кибернетике и реализации ее возможностей.

Первое. Главным условием существования и развития человеческого общества, как известно, является труд; напряженным трудом мы будем добиваться выполнения задач Программы нашей партии. Жить — это значит трудиться, трудиться — это значит жить. В труде на благо народа смысл жизни, в этом счастье человека.

Второе. Труд должен быть целенаправленным. Высокие цели для нашего труда ставятся нашей партией. Целенаправленный труд должен обеспечить быстрый научный и технический прогресс, должен помочь решать важнейшие идеологические проблемы, которые неизбежно возникают и будут возникать.

Третье. Труд должен быть производителен, или, применяя термин, широко используемый в Программе КПСС, труд должен быть эффективен. Это означает, что поставленные задачи должны быть разрешены в кратчайший срок и с наименьшими затратами человеческих сил, энергии и материальных средств.

Четвертое. Целенаправленный и высокоэффективный труд должен быть хорошо организован, должно быть обеспечено соответствие между решаемыми задачами, имеющимся временем и ресурсами.

Пятое. Организованный, целенаправленный и эффективный труд должен допускать и требовать использования методов и средств управления, соответствующих имеющемуся времени и трудности решаемых задач.

Шестое. Важнейшей задачей в организации труда, его обеспечении и управлении им является задача оптимизации связанных с ним процессов. Труд должен быть не только высокоэффективным, он должен быть поставлен в наилучшие, наиболее выгодные условия с точки зрения выигрыша времени, человеческих сил и материальных средств. Проблема оптимизации управленческого труда — это одна из наиболее трудных и важных задач.

Теоретические исследования, организационная деятельность, проектно-конструкторская работа по созданию новых прогрессивных технических средств труда, новых машин, приборов, электронных машин, средств связи, транспорта, работа по подъему нашего сельского хозяйства, развитие нашей энергетики — все это должно быть подчинено оптимальному решению высоких задач, поставленных перед нами Программой нашей партии.

При обсуждении путей и способов, ведущих в кратчайший срок к решению всех этих задач, свое слово должны сказать многие естественные и общественные науки. Но я хочу подчеркнуть, что над их решением наряду с другими науками, никого не подменяя и ни на что не претендуя, кроме оказания пользы делу, должна трудиться и кибернетика.

Самым главным был и остается фактор времени. Мы не можем себе позволить роскошь растрачивать его. Необходимо во всех наших мероприятиях — и в области производства, и в области культуры, и в области науки — считаться с фактором времени. Только при этом условии мы сможем выполнить те величественные задачи, которые поставлены перед народом нашей страны Программой КПСС.

Я уверен, что кибернетика может помочь, и обязательно поможет обеспечить оптимальный уровень управления целенаправленным, высокоэффективным и хорошо организованным трудом строителей коммунизма, и оправдает надежды, возлагаемые на использование ее достижений и возможностей. Но для этого необходимо продолжать работу по укреплению идеологических, методологических и мировоззренческих основ кибернетики. Такая работа является важной составной частью тех всесторонних исследований по методологии современной науки, развертывания которых требует постановление Президиума АН СССР по докладу академика Л. Ф. Ильичева «Методологические проблемы естествознания и общественных наук»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> См. «Методологические проблемы науки». Материалы заседания Президиума Академии наук СССР, М., 1964.



В современных условиях, когда естественные и общественные науки становятся все более мощным фактором развития общества, исследования в области методологических проблем науки приобретают актуальное значение. И в этих исследованиях важное место занимает работа по философскому осмыслению идей, методов, результатов и перспектив развития кибернетики и ее приложений в различных областях науки, техники и народного хозяйства. Одним из выражений этой работы является настоящая коллективная монография — плод творческого содружества советских философов и специалистов в различных отраслях кибернетики и ее приложений.



## **Кибернетика и философия**

В ряду идеологических задач, поставленных Программой КПСС, существенное значение имеет разработка философских проблем современного естествознания. Такая разработка, основанная на положениях диалектического и исторического материализма, единственно научной методологии познания, является важным условием развития советской науки. Одним из участков философской работы в области методологических проблем науки является область философской проблематики кибернетики.

В результате преодоления культа личности и создания творческой обстановки в нашей стране значительно укрепился заветный В. И. Лениным союз естествознания и диалектико-материалистической философии. Это нашло яркое отражение в разработке за последние годы методологической проблематики кибернетики.

Для кибернетики, молодой научной дисциплины, переживающей период формирования ряда своих существенных разделов, особую важность имеет верность методологических позиций.

Как известно, кибернетика — это наука с весьма широким предметом исследования. Ее достижения имеют принципиальное мировоззренческое значение. Для развития кибернетики одинаково неблагоприятны как идеалистические и догматические крайности, отрицающие научность кибернетики, так и чрезмерные преувеличения возможностей кибернетики, попытки выдать ее за некую «науку наук». Только материалистическая диалектика способна служить теоретической основой для трезвого научного анализа возможностей и перспектив развития кибернетики, раскрытия подлинной роли ее достижений в строительстве коммунизма в нашей стране.

Благодаря творческим дискуссиям коллективными усилиями наших естествоиспытателей и философов было достигнуто определенное продвижение вперед в разработке ряда сложных методологических проблем кибернетики. В 1961 г. вышли в свет два коллективных труда: «Кибернетику — на службу коммунизму» и «Философские вопросы кибернетики». Предлагаемый вниманию читателей написанный большим авторским коллективом труд продолжает разработку мировоззренческих, методологических и общетеоретических проблем кибернетики, начатую в вышеупомянутых работах.

## 1. Кибернетика как наука

В первой части книги помещены статьи, посвященные предмету кибернетики, а также методологическим проблемам кибернетики, носящим общий характер.

Философское значение и методологическая проблематика кибернетики основаны на том, что это новое научное направление положило начало строгому естественнонаучному и математическому изучению той группы законов действительности, которая относится к управлению и переработке информации в качественно различных областях реального мира. Именно с этой точки зрения следует подходить к характеристике кибернетики как науки о процессах управления в сложных динамических системах, базирующейся на теоретическом фундаменте математики и логики, с одной стороны, и применении средств автоматизации, особенно электронных вычислительных, управляющих и информационно-логических машин — с другой<sup>1</sup>.

Характер философской проблематики кибернетики и определение ее предмета тесно связаны с выделением трех основных областей управления<sup>2</sup>: область управления системами машин, технологическими процессами и вообще процессами, имеющими место при целенаправленном воздействии человека на природу; область управления организованной деятельностью человеческих коллективов, решающих ту или иную задачу (например, коллективов и организаций, осуществляющих экономические, финансовые, правовые, транспортные, военные и дру-

---

<sup>1</sup> См. А. Берг, Н. Бернштейн, Б. Бирюков, А. Китов, А. Напалков, А. Спиркин, В. Тютин, Кибернетика, «Философская энциклопедия», т. 2, М., 1962.

<sup>2</sup> См. А. И. Берг, О некоторых проблемах кибернетики, «Вопросы философии» № 5, 1960.

гие операции); область управления процессами, происходящими в живых организмах (физиологические, биохимические и другие процессы, связанные с жизнедеятельностью организма). То общее, что имеется в процессах управления в этих различных областях, и изучается кибернетикой; сами же эти области выступают как сферы применения этого научного направления. Кибернетику можно подразделить на теоретическую, техническую и прикладную, и в связи с каждым из этих разделов возникают методологические проблемы. Среди последних важное место занимают вопросы, относящиеся к предмету кибернетики и взаимоотношениям кибернетики (и лежащих в основе ее разделов математики и логики) с естественными и общественными науками, к которым применяются ее идеи и методы.

Более четкое представление о предмете кибернетики, об областях применения ее методов связано с уточнением ее исходных понятий, таких, как *система управления*, *информация* и ряд других. В зависимости от трактовки этих понятий могут быть предложены различные описания предмета кибернетики.

В настоящее время имеется несколько внешне различных определений кибернетики. Анализ этих определений показывает, однако, что они имеют в виду по существу один и тот же предмет. Выбирается ли для характеристики кибернетики преимущественно информационный аспект или же алгоритмический, указывается ли понятие причинной сети или понятие обратной связи в качестве понятий, тесно связанных со спецификой кибернетики, — во всех случаях — фактически — имеется в виду задача изучения математическими и математикологическими методами систем и процессов управления.

В настоящей книге рассмотрению предмета кибернетики и связанным с этим рассмотрением теоретическим вопросам посвящены статьи члена-корреспондента АН СССР А. А. Маркова «Что такое кибернетика?»; академика В. М. Глушкова (Киев) «О кибернетике как науке»; члена-корреспондента АН СССР А. А. Ляпунова (Новосибирск) и профессора, доктора физико-математических наук С. В. Яблонского «О теоретических проблемах кибернетики».

С. В. Яблонский и А. А. Ляпунов<sup>1</sup> исходят из весьма широкой трактовки понятия управляющей системы, при которой в качестве управляющих систем рассматриваются не только

---

<sup>1</sup> См. А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский, Теоретические проблемы кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 9, 1963.

такие объекты, как автоматические станочные линии, цифровые вычислительные машины или нервные ткани, но и алгоритмы, математические формулы и т. д. Различаются реальные системы управления (или, в терминологии С. В. Яблонского, «физические управляющие системы») и математические (или абстрактные) управляющие системы<sup>1</sup>. Абстрактная управляющая система — это некоторый математический объект, характеризующий то общее, что содержится в тождественных (точнее, изоморфных) в каком-либо смысле физических управляющих системах. Понятие абстрактной управляющей системы Ляпунова — Яблонского родственно другим математическим понятиям, — например понятиям фигуры, числа и т. п.; ему дается строгое математическое определение и формулируется тезис, согласно которому каждая физическая управляющая система может быть адекватно изображена некоторой математической управляющей системой. В соответствии с этим кибернетика трактуется как математическая дисциплина, изучающая (математические) управляющие системы.

Такое понимание кибернетики означает взгляд на кибернетику как на науку об общих закономерностях процессов управления и строения систем, в которых оно осуществляется. Подход А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского, выраженный как в упомянутых выше статьях сборника «Проблемы кибернетики», так и в их статье в настоящей коллективной монографии, позволяет показать место различных научных дисциплин в общем здании кибернетики. Раскрывая исключительную важность разработки математических методов конструирования кибернетических систем, он обнаруживает, что разработка указанных методов происходит на специальных модельных объектах (контактные схемы, автомат, программа и др.), которые выбираются так, чтобы сохранялось их сходство с реальными системами управления. Методологическое значение этого подхода состоит в том, что методы, отработанные для сравнительно узких классов модельных объектов, оказываются применимыми в более широких сферах.

В. М. Глушков трактует кибернетику как науку об общих законах преобразования информации в сложных системах управления; при этом подчеркивает, что, будучи мощной теоретической наукой, кибернетика находит себе широкое практическое применение. В настоящее время она разветвляется на целую гамму прикладных наук, каждая из которых имеет свою

---

<sup>1</sup> С. В. Яблонский, Основные понятия кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 2, 1959.

собственную научную, в том числе и чисто теоретическую, проблематику; развитие кибернетики тесно связано с процессом математизации науки.

А. А. Марков определяет кибернетику как общую теорию причинных сетей, изучающую их с точностью до изоморфизма. Точка зрения А. А. Маркова означает, что кибернетика применима к любой области, изучение которой требует рассмотрения причинных сетей; при этом применение средств кибернетики имеет смысл в случае, если изучаются или конструируются сложные причинные сети; системы управления как раз и можно рассматривать как такого рода сети. Подход А. А. Маркова к предмету кибернетики означает, что эта наука отвлекается от качественной определенности узлов причинной сети (сети рассматриваются с точностью до изоморфизма) и от специфического характера того множества законов природы, в связи с которыми рассматривается данная причинная сеть. Это придает теоретической кибернетике в истолковании А. А. Маркова характер математической науки и отличает ее от таких наук, как, скажем, биология, в которых стремятся учесть как раз качественные характеристики изучаемых процессов и объектов.

И подход С. В. Яблонского и А. А. Ляпунова, и точка зрения А. А. Маркова характеризуются двумя связанными друг с другом чертами — пониманием кибернетики как математической дисциплины и тенденцией к рассмотрению предмета этой науки в весьма широком плане.

Целесообразность изучения различных вариантов широкого подхода к некоторым основным понятиям кибернетики для теоретических рассмотрений этой науки вряд ли может быть подвергнута сомнению. Такое рассмотрение не лишает кибернетику характера конкретной науки, изучающей определенные стороны действительности. Однако бесспорно, что в центре внимания кибернетики находится тот класс систем управления, в которых связи между компонентами (элементами) системы, а также подсистемами носят специфический характер, отличный от обычных физических и химических взаимодействий и фиксируемый в таких (уточняемых разными способами и на различных уровнях) понятиях, как информация, гомеостазис, самонастройка, обучение, цель управления, оптимизация, обратная связь и др. В этот класс входят прежде всего системы управления, обладающие способностью к подлинной самоорганизации различного уровня (растения, животные, коллективы живых организмов и др.), и системы типа «человек — машина» (устройства в автоматике и телемеханике, технике связи, вычислительные и информационно-логические машины вместе с

обслуживающими их людьми и т. д.). Системы второй группы представляют собой объединения, где разнообразные автоматические устройства функционируют при косвенном участии человека, который компенсирует отсутствие отдельных сторон самоорганизации у современных машин.

С этой точки зрения интерес представляет тот подход к предмету кибернетики, который развивает академик А. И. Берг. «Кибернетика, — с точки зрения А. И. Берга, — это наука об управлении сложными динамическими системами»<sup>1</sup>. Сильная сторона этого подхода в том, что он позволяет подчеркнуть действенный характер кибернетики как науки, показать, что ее основной задачей является изучение процессов и операций управления сложными динамическими системами с целью повышения эффективности человеческой деятельности, достижения оптимального уровня управления целенаправленным, высокоэффективным и хорошо организованным трудом в науке и в народном хозяйстве — в экономике, промышленности и т. д. «Кибернетика, — говорит А. И. Берг, — это наука о целенаправленном и оптимальном управлении сложными системами. А это означает, что эта наука может нам помочь в решении труднейших задач, поставленных перед нами на ближайшие десятилетия»<sup>2</sup>.

С методологической точки зрения важно иметь в виду, что определение любой науки всегда ограничено и не может вобрать в себя всего богатства даже основных ее черт. Это тем более касается определения предмета такой молодой науки, как кибернетика. Вместе с тем следует подчеркнуть, что оживленно продолжающиеся до сих пор методологические дискуссии о предмете кибернетики, выдвижение различных вариантов определения этой науки служат тому, что предмет кибернетики раскрывается с различных сторон и получает более углубленную трактовку. Выдвинутые рядом советских ученых концепции предмета кибернетики позволили глубже и с разных сторон осветить предмет и задачи этой науки, более полно осмыслить ее место в системе научного знания.

Ряд статей первой части книги посвящен рассмотрению философских вопросов, связанных с характеристикой предмета и методов кибернетики. В статье кандидатов философских наук Б. В. Бирюкова и В. С. Тюхтина «О философской проблематике кибернетики» охарактеризованы методологические проблемы

---

<sup>1</sup> А. И. Берг, Проблемы управления и кибернетика, «Философские вопросы кибернетики», стр. 155—156.

<sup>2</sup> А. И. Берг, Кибернетика и научно-технический прогресс, «Биологические аспекты кибернетики», стр. 19.

кибернетики в их связи с некоторыми основными законами и категориями диалектико-материалистической философии. Некоторые из вопросов, поднятых в этой статье, более подробно рассмотрены в статьях кандидата философских наук И. Б. Новика «К вопросу о единстве предмета и метода кибернетики»; кандидата философских наук П. И. Дышлевого «К вопросу о предмете кибернетики»; В. С. Казаковцева «О некоторых важных философских вопросах кибернетики» и кандидата технических наук М. Г. Гаазе-Рапопорта «Кибернетика и некоторые задачи философии».

И. Б. Новик, исходя из понимания кибернетики как науки об оптимизации деятельности, подчеркивает, что кибернетика дает возможность раскрыть динамическую функцию сложной системы при неполном знании ее внутреннего содержания; при этом обращается внимание на то значение, которое имеет принцип единства управления и информации для уяснения своеобразия моделирования в кибернетике.

Важным вопросом методологической работы в области кибернетики является раскрытие значения диалектико-материалистической методологии для кибернетики и тех или иных ее областей. Эти вопросы рассматриваются в статьях В. С. Казаковцева и М. Г. Гаазе-Рапопорта, а также в статье доктора физико-математических наук Н. Н. Воробьева (Ленинград) «К вопросу о философской проблематике теории игр». В. С. Казаковцев специально подчеркивает связь философской проблематики кибернетики с диалектической логикой. В статье Н. Н. Воробьева рассмотрены методологические проблемы, связанные с построением математических моделей конфликтных ситуаций, — в частности вопросы, относящиеся к соотношению понятий теории игр с такими философскими категориями, как необходимость, случайность, антагонизм.

Выявление характерных черт кибернетики как науки тесно связано с рассмотрением процесса развития этой области знания. Некоторым аспектам становления кибернетики посвящена статья В. Н. Свинцицкого «К вопросу о генетической связи кибернетики с классической автоматикой».

Теоретическая проблематика кибернетики и ее философские аспекты требуют основательной работы в области терминологии. Такая работа предполагает изучение системы понятий кибернетики и сопоставление ее с понятиями математики, биологии и других наук, с которыми тесно связана кибернетика, а также установление соотношения между философскими и кибернетическими понятиями. Некоторым аспектам очерченного круга вопросов посвящена статья кандидата педагогических наук Н. П. Ерастова «О структуре понятий кибернетики».



В целом статьи, помещенные в первой части книги, дают достаточно разностороннее представление о современной трактовке предмета и методов кибернетики, об основном круге философской проблематики этой области знания. Выдвигаемые рядом авторов различные точки зрения по отдельным вопросам отражают проводящиеся в настоящее время активные исследования в области теоретических основ и методологических вопросов кибернетики.

## 2. Кибернетика и жизнь

Развитие кибернетики весьма обогащает общую биологию, физиологию и нейрофизиологию, генетику, медицину и другие науки биолого-медицинского цикла, которые благодаря прогрессу в них кибернетического подхода все больше начинают использовать средства и методы логики и математики. С другой стороны, проводимые с кибернетической точки зрения исследования биологических систем открывают новые перспективы перед автоматикой, помогают выявлять новые принципы построения технических систем управления.

Во второй части книги помещены статьи, посвященные методологическим вопросам биологических аспектов кибернетики. В связи с тем что общетеоретические и философские стороны применений кибернетики в биологии уже получили в нашей литературе значительное освещение<sup>1</sup>, этот раздел книги представлен меньшим числом статей по сравнению с другими разделами. Однако помещенные статьи затрагивают многие важные философские вопросы биологических аспектов кибернетики.

Статьи, посвященные биологическим аспектам кибернетики, трактуют различные темы и в ряде случаев содержат оригинальные точки зрения их авторов по вопросам, вокруг которых идет в настоящее время дискуссия. Однако их объединяет то, что они имеют своей методологической основой диалектико-материалистический подход к явлениям жизни, исходящий из представления о ведущем значении условий существования в развитии живого мира.

Кибернетический подход к явлениям жизни связан с необходимостью уточнения ряда общебиологических понятий. Некоторым из связанных с этой задачей вопросам посвящена статья А. А. Ляпунова «О строении управляющих систем

---

<sup>1</sup> См., например, «Биологические аспекты кибернетики».

живой природы»<sup>1</sup>. Как отмечает А. А. Ляпунов, характерная для живого вещества чрезвычайно высокая устойчивость связана с иерархическим строением систем управления и с тем, что управляющие системы живого используют для выработки сохраняющих реакций информацию, кодируемую на мономолекулярном уровне. Концепция А. А. Ляпунова показывает, что с помощью кибернетического подхода можно подойти к объяснению структурированности биологических объектов, проявляющейся в наличии таких биологических форм, как популяция, организм, отдельные органы, клетки, органеллы клеток и отдельные биологически значимые молекулы, а также в эволюции.

Одним из важных направлений проникновения кибернетических концепций в биологию, представляющих большой интерес с философской точки зрения, является генетика. Это проникновение происходит рука об руку с применением в биологии методов биохимического исследования, средств физики и математики. Важнейшим достижением науки являются успехи в раскрытии биомеханизма передачи наследственной информации<sup>2</sup>. Существенно, что, как отмечает в своей статье А. А. Ляпунов, возникшая в генетике проблема кодирования и перекодирования наследственной информации является по своей природе кибернетической.

Много проблем, тесно связанных с кибернетикой и имеющих философское значение, возникает при изучении нервной системы. В Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию биологической науки и укреплению ее связи с практикой»<sup>3</sup> обращается внимание на важность изучения работы мозга и подчеркивается значение использования в этом изучении новейших биофизических методов исследования. Для реализации этих указаний большое значение имеет использование кибернетики в биологических исследованиях. Развитие теоретических и технических средств кибернетики и связанных с нею наук, в том числе математической логики, открывает новые пути и возможности для изучения головного мозга. Применение идей и методов кибернетики

---

<sup>1</sup> Статья представляет собой изложение доклада А. А. Ляпунова на Теоретической конференции. Более подробно идеи А. А. Ляпунова изложены в его статье «Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов», «Проблемы кибернетики», вып. 10, 1963.

<sup>2</sup> См., например, Ф. Г. К. Крик, Химия и генетика, «Наука и человечество», М., 1963, стр. 336—343.

<sup>3</sup> См. «Правда», 25 января 1963 г.

в нейрофизиологии привело к выделению области исследований, которая получила название нейрокибернетики. Методологическим вопросам нейрокибернетики в сборнике посвящена статья кандидата биологических наук А. В. Напалкова «Кибернетика и пути изучения мозга».

Развитие кибернетики наносит новые удары по идеалистическим и механистическим представлениям о явлениях живой природы, по виталистическому истолкованию жизни. Связанные с этим вопросы рассматриваются в статье кандидата философских наук Ш. Г. Адэишвили (Тбилиси) «Кибернетика и проблема изучения жизни».

Среди методов кибернетики, существенно важных для изучения живого, видное место занимает моделирование в различных его формах, особенно моделирование на электронных цифровых вычислительных машинах. Методологические вопросы кибернетического моделирования биологических систем и процессов жизнедеятельности, а также нервно-психических процессов рассматриваются в ряде статей книги. Много внимания уделяет моделированию в нейрокибернетике в указанной выше статье А. В. Напалков. Кандидат биологических наук К. С. Тричер в статье «О моделировании функций живой системы» рассматривает дискутирующийся в литературе и важный с принципиальной точки зрения вопрос о возможностях моделирования функций живой системы на различных фазах ее развития средствами термодинамики открытых систем.

Одной из характерных черт современного этапа кибернетики является углубляющаяся связь между биологическими аспектами этого научного направления и техникой. Связь эта осуществляется не только по линии применения технических средств кибернетики в биологии и медицине, но и по линии применения идей и технических решений, выявленных при изучении живых систем, в разработке и конструировании технических устройств, в частности автоматов различных типов и назначения. Эта последняя линия взаимодействия биологии и техники породила особую, тесно связанную с кибернетикой область знаний и технической практики, получившую название бионики. Методологические вопросы, связанные с взаимодействием живой и неживой природы в свете теоретической и технической кибернетики, рассматриваются в статье Г. Б. Линковского «О некоторых характерных чертах и тенденциях развития кибернетики». Автор статьи отмечает, что сейчас наступила эпоха взаимопроникновения живой и неживой материи, о чем, в частности, свидетельствует развитие протезирования.

### 3. Кибернетика и изучение познавательных психических процессов

В третьей части книги помещены работы, освещающие методологические вопросы изучения нервно-психических процессов. В ней читатель найдет и статьи, рассматривающие некоторые философские проблемы, группирующиеся вокруг понятия информации в кибернетике. Сюда же включены статьи, посвященные вопросу о возможностях моделирования средствами кибернетики процессов и операций мышления.

Статьи профессора, доктора педагогических наук А. Н. Леонтьева и кандидата педагогических наук Е. П. Кринчик «Некоторые особенности процесса переработки информации человеком», профессора, доктора биологических и кандидата философских наук Е. Н. Соколова «О моделирующих свойствах нервной системы» и кандидата педагогических наук Е. И. Бойко «Моделирование функций мозга и высшая нейродинамика» основаны на экспериментальном материале. Конкретный подход к проблеме переработки информации человеком позволяет снять как метафизическое противопоставление результатов кибернетики данным психологии, так и столь же метафизическое отождествление процессов, протекающих в технических системах связи, с психическими процессами.

Важной областью применения методов кибернетики и теории информации к изучению психических процессов являются исследования зависимости времени реакции человека от количества воспринимаемой информации, которые были начаты прежде всего в работах У. Е. Хика и Р. Хаймена<sup>1</sup>. Продолжая эти исследования, А. Н. Леонтьев и Е. П. Кринчик показывают, что экспериментальное исследование реакции выбора свидетельствует о том, что у испытуемого в условиях опыта развивается процесс оптимизации восприятия информации; аналогичные результаты дало также изучение влияния фактора значимости сигнала на процесс переработки информации. Переработка информации человеком — это активный процесс, оптимизирующий решение той или иной поставленной перед человеком задачи.

Развитие приложений кибернетики в различных областях, как мы уже имели случай отмечать, тесно связано с идеями

---

<sup>1</sup> W. E. Hick, On the Rate of Gain of Information, «Journal of Experimental Psychology», vol. 44, N 1, 1952; R. Hyman, Stimulus Information as a Determinant of Reaction Time, «Journal of Experimental Psychology», vol. 45, N 3, 1953.

моделирования. В статье Е. Н. Соколова показано, что нервную систему можно рассматривать как моделирующее устройство, а степень сложности нервной системы связывать с возможностями ее в моделировании свойств внешних раздражителей. В несколько ином аспекте понятие моделирования рассматривается в статье Е. И. Бойко, который использует его для описания процессов не только на уровне первой, но и второй сигнальной системы.

Важной областью философской проблематики кибернетики являются методологические вопросы, группирующиеся вокруг понятия информации в кибернетике. Среди этих вопросов наиболее разработанными в нашей литературе являются методологические аспекты шенноновской теории информации<sup>1</sup>. Однако помимо достаточно выявленных аспектов информации, связанных с теорией информации К. Шеннона, имеются такие важные, но мало разработанные стороны понятия информации, как ценность и смысл (семантическая сторона) информации. Немаловажная философская проблематика относится к работам по изучению знаковых систем (семиотический аспект информации) и связанным с последними рассмотрением коммуникативных процессов в обществе. Некоторые из отмеченных выше вопросов нашли отражение в статьях В. С. Тюхтина и А. А. Брудного.

В статье кандидата философских наук В. С. Тюхтина «Сущность отражения и теория информации» принятое в нашей философской литературе положение о тесной связи — но отнюдь не тождестве! — понятия информации с понятием свойства отражения (отображения), присущего всей материи, раскрывается в применении к психическому отражению через выявление значимости ориентировочной потребности и ориентировочно-поисковых реакций живого организма. На этой основе выявляется значение, в естественнонаучном и философском плане, учета семантической (смысла, содержания) и прагматической сторон информации (ценность информации для получателя). В статье кандидата философских наук А. А. Брудного (Фрунзе) «О некоторых приложениях теории информации» рассматриваются некоторые методологические вопросы, относящиеся к коммуникативным процессам, происходящим в обществе.

---

<sup>1</sup> Из последних работ советских ученых, в которых рассматриваются методологические проблемы, связанные с информацией и теорией информации, можно отметить: А. А. Харкевич, *Информация и техника*, «Коммунист» № 17, 1962; Б. С. Украинцев, *Информация и отражение*, «Вопросы философии» № 2, 1963; И. Б. Новик, *Негэнтропия и количество информации*, «Вопросы философии» № 6, 1962, и др.

Как известно, большая группа философских вопросов кибернетики относится к возможностям моделирования процессов мышления и к соотношению машины, автомата, с одной стороны, и человека с его сознанием — с другой.

Существует тенденция свести все — или почти все — философские проблемы кибернетики к указанным вопросам. При этом наблюдается попытка подменить эти вопросы — достаточно трудные для анализа — некорректно формулируемым вопросом: «Могут ли машины мыслить?» С нашей точки зрения, такой подход неправомерен, так как обедняет методологическую проблематику кибернетики. Нам представляется поэтому полезным обратить внимание читателя на содержащийся в решении теоретической конференции по философским вопросам кибернетики призыв преодолеть абстрактность в разработке философских проблем кибернетики, «переключить внимание с отвлеченных вопросов, не имеющих прямой связи с запросами современного этапа развития кибернетики, на актуальные философские проблемы, выдвигаемые этой наукой и ее практическими приложениями»<sup>1</sup>.

С нашей точки зрения, для плодотворного рассмотрения вопросов о принципиальных и реальных возможностях машинного моделирования процессов мышления, о соотношении возможностей вычислительной машины (или автомата) и человека с его деятельностью следует прежде всего учитывать социальную обусловленность мышления, сознания, психической жизни человека. Мы считаем, что магистральной линией в данном вопросе является тезис о машине как орудии и помощнике человека, а также положение, связывающее появление мышления, сознания с целенаправленными процессами труда, с развитием производства и социальной жизнью. Как подчеркнул академик Л. Ф. Ильичев в докладе «Методологические проблемы естествознания и общественных наук» на расширенном заседании Президиума Академии наук СССР, кибернетика вправе рассматривать человеческий мозг как систему для целенаправленной переработки информации, однако при этом не должен отбрасываться социальный, общественно обусловленный характер мышления<sup>2</sup>.

Следует также иметь в виду, что вопрос о возможностях кибернетических машин приобретает различный смысл в зависимости от того, ставится ли он в принципиально-математическом смысле или же в плане реальной осуществимости.

---

<sup>1</sup> «Вопросы философии» № 11, 1962, стр. 154.

<sup>2</sup> См. Л. Ф. Ильичев, Методологические проблемы естествознания и общественных наук, «Методологические проблемы науки», стр. 73—74.

Л. Ф. Ильичев, отметив в указанном докладе, что современные ученые, работающие в области кибернетики, сформулировали математические теоремы, которые подтверждают, что в принципе возможно искусственно построить такую сложную структуру, как человеческий мозг, вместе с тем подчеркнул, что пока ни один математик не может уверенно сказать, как подобную возможность перевести в действительность. Для компетентного размышления над подобными проблемами особенно важен союз кибернетики с диалектическим материализмом.

Иногда можно слышать споры о том, могут ли кибернетические машины воспроизводить (моделировать) человеческие способности. Эти споры, с нашей точки зрения, основаны на недоразумении. Марксистское понимание машины исходит из того, что она является средством развития и совершенствования «естественных сил человека» (Маркс). Согласно этому пониманию, машина служит не для «вытеснения» человека, а для увеличения его мощи, для умножения его возможностей в сфере материальной практики и интеллектуального труда. И если, как учит марксизм, развитию человека и человечества нет предела в рамках объективных законов, то правомерно ли паллагать какие-то ограничения на развитие машин как его орудий? Человеку «и дальше придется для удовлетворения своих непрерывно растущих потребностей во все большем масштабе поручать электронным машинам выполнение операций, которые необоснованно считались навсегда закрепленными только за человеческим мозгом. Границ тут нет никаких»<sup>1</sup>.

В настоящем сборнике вопросам, связанным с соотношением возможностей кибернетических машин и мышления, посвящены статьи С. М. Шалютина, А. И. Умова, Л. Б. Баженова и А. И. Прохорова. Эти статьи рассматривают разные стороны проблемы, отражая вместе с тем несовпадающие в ряде пунктов точки зрения их авторов. В статье кандидата философских наук С. М. Шалютина (Курган) «О принципиальных возможностях кибернетического моделирования» при рассмотрении соотношения машины и сознания подчеркивается социальная природа последнего и определяющая роль труда в его формировании. Кандидат философских наук А. И. Умов (Иваново) в статье «Аналогия как метод решения проблемы соотношения машины и мышления» прежде всего выясняет те познавательные приемы, которые пригодны для рассмотрения различных аспектов проблемы; среди этих приемов А. И. Умов выделяет

---

<sup>1</sup> А. И. Берг, Наука величайших возможностей, «Природа» № 7, 1962, стр. 21.

аналогию. В статье кандидата философских наук Л. Б. Баженова «О некоторых философских аспектах проблемы моделирования мышления кибернетическими устройствами» подвергаются анализу различные аргументы в пользу принципиальной ограниченности возможностей кибернетических машин в воспроизведении операций мышления. А. И. Прохоров в статье «О проблеме моделирования мышления и жизни» связывает рассматриваемый вопрос с развитием понятия машины, произошедшим после возникновения кибернетики и современных технических средств переработки информации. Конечно, не все положения статей указанных авторов могут представиться читателю достаточно аргументированными. Некоторые из них вызывают возражения, другие — желание поглубже разобраться в вопросе. Однако попытки авторов осветить проблему, следуя принципам диалектико-материалистической философии и опираясь на достижения кибернетики, можно только приветствовать.

#### **4. Кибернетика и вопросы логики и методологии научного исследования**

Характерной чертой современного этапа методологической работы в области естественных и общественных наук является то важное место, которое в ней занимают вопросы логики и методологии научного исследования. Вопросы этого рода имеют самую тесную связь с философской проблематикой кибернетики, так как кибернетика придала общенаучный характер ряду специальных методов научного исследования, — таким, как метод моделей или изучение системы на основании ее поведения. Статьи, посвященные использованию идейного арсенала кибернетики для разработки вопросов методологии и логики научного исследования, объединены в четвертой части книги.

Четвертая часть книги открывается статьей доктора физико-математических наук В. В. Чавчанидзе (Тбилиси) «Модели науки и кибернетика». В отличие от ряда других статей сборника, в которых метод моделирования рассматривается в связи с его применением к тем или иным областям кибернетики (моделирование явлений жизни, моделирование процессов мышления и т. п.), здесь метод моделей берется в более широком плане. Автор идет от рассмотрения моделей в физике к общему, гносеологическому смыслу понятия модели и отсюда переходит к рассмотрению математических моделей и к трактовке процесса построения моделей объекта как к процессу управления.



Другой метод, получивший широкое признание в науке в связи с развитием кибернетики, — это метод изучения системы по ее поведению, метод, который в нашей литературе получил название макроподхода (А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский) или функционального подхода (И. Б. Новик), а за рубежом обычно известен под названием метода «черного ящика». Философской проблематике этого метода посвящена статья кандидата философских наук Б. С. Грязнова «Некоторые гносеологические аспекты кибернетики».

Известно то значение, которое имеют идеи и результаты кибернетики для обогащения философской категории причинности<sup>1</sup>. С этой точки зрения интерес представляет введенное А. А. Марковым понятие причинной сети. Раскрытие значения теории причинных сетей как методологической основы моделирования и управления процессами посвящена статья доцента Ю. Я. Базилевского «О причинных сетях как основе организации процессов». В ней также отмечено методологическое значение круга идей, развивающихся в рамках логической семантики.

Если попытаться выделить самое главное в том новом, что кибернетика и ее средства вносят в методы научной работы, то этим главным будет, пожалуй, автоматизация ряда важных операций и процессов интеллектуальной деятельности людей. Прогресс в этом направлении идет по многим линиям, из которых наиболее впечатляющей является, быть может, успешная разработка машинного поиска логического вывода<sup>2</sup>. Очерченному кругу вопросов посвящена статья академика Н. Г. Бруевича «О некоторых вопросах автоматизации умственного труда».

Интересной областью научной проблематики кибернетики и связанной с ней технической практики являются проблемы обучения в самом широком смысле — от процессов «обучения» автоматов до педагогических процессов в человеческих коллективах. Связанная с этим проблематика уже чрезвычайно разнообразна и охватывает математические модели обучаемости, работы по созданию автоматов, способных распознавать образы (и научиться такому распознаванию), исследования в области так называемого программированного обучения людей и т. п.

---

<sup>1</sup> Понятию причинности в свете идей и результатов кибернетики значительное внимание уделено в книге Г. Клауса «Кибернетика и философия», М., 1963 (см. особенно стр. 310—347, а также послесловие к книге, стр. 513—517).

<sup>2</sup> На состоявшемся 1—7 июля 1964 г. в г. Тракай (Литовская ССР) Первом Всесоюзном симпозиуме по проблеме машинного поиска логического вывода были доложены новые важные результаты, полученные советскими учеными в этой области. Среди них особое значение имеют достижения Н. А. Шанина и его учеников.

По отношению к автоматам применение методов «обучения» требует использования, помимо обычных для кибернетики средств детерминированного математического и логического описания процессов, также и моделирования эвристических выводов, перенесения на совершенствование поведения автоматов тех знаний в области обучения, которые накоплены педагогикой и психологией или извлечены из изучения поведения животных. Статья профессора, доктора технических наук А. А. Фельдбаума «Процессы обучения людей и автоматов» посвящена философско-теоретическому обзору выявившихся к настоящему времени методов построения автоматов. В статье отмечается, что изучение процесса обучения людей представляет большой интерес для конструкторов обучающихся автоматов.

Существует другой подход к проблеме *кибернетика и обучение* — со стороны использования теоретических и технических средств кибернетики в обучении людей. Такое применение (конечно в его разумных формах) может сыграть немаловажную роль в решении задачи рационализации обучения. Проникновение идей кибернетики в теорию и практику обучения привело в настоящее время к оформлению того направления в педагогике, которое получило название программированного обучения. В настоящей книге проблемам этого рода посвящена статья Ю. А. Гастева «О методологических вопросах рационализации обучения», из которой читатель может почерпнуть сведения об основных идеях этого направления, в частности о взгляде на обучение как на процесс управления и о применении к обучению принципа программного управления.

Характерной чертой кибернетики является ее тесная связь с логикой. Необходимой составной частью теоретического фундамента кибернетики является математическая логика, поэтому приложения кибернетики в тех или иных областях весьма часто идут рука об руку с применением в них средств математической логики. Это особенно касается гуманитарных наук, в которых математические методы находили до последнего времени весьма ограниченное приложение. Сказанное подчеркивает важность рассмотрения философских вопросов, связанных с соотношением логики и кибернетики и с применением средств этих наук в гуманитарных областях знания. Эти вопросы составляют содержание статьи кандидата философских наук Б. В. Бирюкова и профессора, доктора философских наук А. Г. Спиркина «Гуманитарные науки, логика и кибернетика», в которой рассмотрение указанных выше вопросов завершается обзором философских аспектов логической проблематики кибернетики.

**I**

**Кибернетика  
как наука**



А. А. МАРКОВ

## Что такое кибернетика?

Термин *кибернетика* появился в современной научной литературе в 1947 г. Он был введен Норбертом Винером как «искусственное неогреческое выражение для устранения пробела»<sup>1</sup>. Этим словом, производимым от греческого *κυβερνήτης* (кормчий), Винер решил обозначать теорию управления и связи в машинах и живых организмах. Однако слово *кибернетика* не оказалось неологизмом. В трудах Платона неоднократно встречалось слово *κυβερνητική*, означавшее искусство управления кораблем, искусство кормчего. Известный физик Ампер предложил называть кибернетикой науку об управлении государством<sup>2</sup>.

В настоящее время старинное слово *кибернетика* стало очень популярным и получило широкое распространение среди научных работников разнообразных специальностей. В Академии наук СССР есть Научный совет по комплексной проблеме «Кибернетика». В Тбилиси и Киеве имеются институты кибернетики. В Москве выходят сборники оригинальных статей «Проблемы кибернетики» и переводные «Кибернетические сборники». В других странах также имеются кибернетические институты и издаются кибернетические журналы.

Ввиду всего этого не лишен интереса вопрос о том, что такое *кибернетика*, т. е. вопрос о четком определении смысла слова *кибернетика*. Этому вопросу и посвящена данная статья, в которой мы предлагаем некоторое его решение, не претендующее, однако, на окончательность.

---

<sup>1</sup> Н. Винер, *Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине*, М., 1958, стр. 23.

<sup>2</sup> А. М. Ampère, *Essai sur la philosophie des sciences*, 2<sup>nd</sup> partie, Paris, 1843, p. 140—142.

Разными авторами давались разные определения кибернетики.

Сейчас нет надобности останавливаться на печально известном «определении» кибернетики как «реакционной лженауки, возникшей в Соединенных Штатах после второй мировой войны и получившей широкое распространение и в других капиталистических странах»<sup>1</sup>. Негодность этого определения сейчас, к счастью, уже не нуждается в доказательствах.

Первоначальное определение кибернетики как теории управления и связи в машинах и живых организмах, данное Н. Винером, во всяком случае требует разъяснений и уточнений, так как не совсем понятно, что подразумевается под управлением и связью. Дать такие разъяснения и уточнения пытается А. Н. Колмогоров, который пишет: «Процессы восприятия информации, ее хранения и передачи называются в кибернетике *связью*, переработка воспринятой информации в сигналы, направляющие деятельность машин и организмов, — *управлением*. Если машина или организм способны воспринимать и использовать информацию о результатах своей деятельности, то говорят, что они обладают органами *обратной связи*; переработка такого рода информации в сигналы, корректирующие деятельность машины или организма, называется в кибернетике *контролем*, или *регулированием*. Поэтому кибернетику определяют также как науку о способах восприятия, хранения, переработки и использования информации в машинах, живых организмах и их объединениях»<sup>2</sup>.

Таким образом, согласно А. Н. Колмогорову, для понимания того, что такое *кибернетика*, надо надлежащим образом уразуметь смысл слова *информация*. Этот смысл должен быть при этом таким, чтобы возможно было говорить о восприятии, хранении, переработке и использовании информации в машинах и живых организмах.

Термин *информация* употребляется в обыденном языке. Так называются сведения, которые мы передаем друг другу. Можно ли, однако, говорить о том, что машины воспринимают какие-то сведения, хранят их, перерабатывают и используют? Смысл высказываний этого рода во всяком случае не ясен; иначе говоря, такие высказывания уже не принадлежат обыденному языку. Мы видим, таким образом, что обыденное понимание слова *информация* (как сведений) непригодно для поставленной цели — определения предмета кибернетики.

---

<sup>1</sup> «Краткий философский словарь», М., 1954, стр. 236.

<sup>2</sup> БСЭ, т. 51, 1958, стр. 149.

Быть может, однако, в науке сформировалось другое понятие информации, отличное от обыденного и пригодное для определения кибернетики, согласно плану А. Н. Колмогорова? Естественно искать определение такого понятия в статье того же автора «Информация»<sup>1</sup>. Однако там мы читаем: «Информация — основное понятие кибернетики», после чего приводится ряд иллюстрирующих примеров, которые, однако, все не выходят за рамки обыденного понимания слова *информация*.

В последнее время А. Н. Колмогоров предпринял попытку сформулировать точное и достаточно общее определение информации. Согласно этому определению, информация есть некоторый оператор, изменяющий распределение вероятностей в рассматриваемой системе событий. Остается, однако, неясным, каким образом это определение может быть использовано для определения предмета кибернетики. Действительно, нам, по-видимому, пришлось бы теперь вкладывать смысл в предложения вроде следующего: «Данная вычислительная машина восприняла данный оператор, изменяющий распределение вероятностей ее состояний, и сохранила этот оператор в своем магнитном барабане».

Таким образом, попытку определить предмет кибернетики через понятие информации пока нельзя признать увенчавшейся успехом. Мы хотим, однако, показать, что кибернетику можно все-таки определить как науку довольно четко, не привлекая понятия информации.

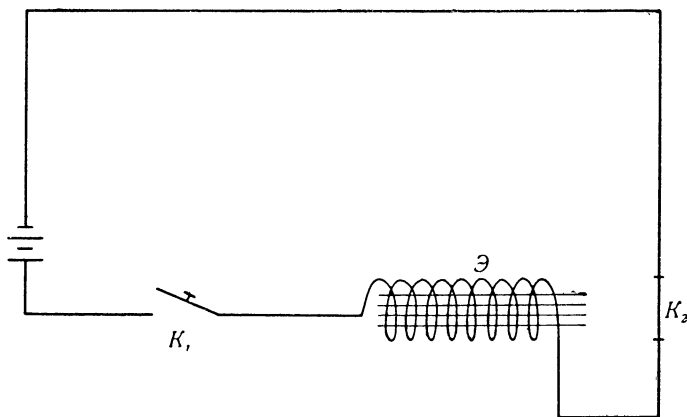


Рис. 1.

<sup>1</sup> БСЭ, т. 51, 1958, стр. 129.

Рассмотрим прежде всего некоторые простые примеры.

**Пример 1.** Старинный электрический звонок (см. рис. 1) состоит из источника постоянного электрического тока, проводов, контактов  $K_1$  и  $K_2$ , электромагнита  $\mathcal{E}$ . Контакт  $K_1$  управляется кнопкой и разомкнут, пока на нее не нажмут. Контакт  $K_2$  при отсутствии тока в цепи поддерживается в замкнутом состоянии пружиной, не показанной на рисунке. Каждый из трех узлов  $K_1$ ,  $K_2$ ,  $\mathcal{E}$  может находиться в двух состояниях: контакт может быть замкнут или разомкнут, электромагнит может быть в активном или пассивном состоянии. Между состояниями этих трех узлов имеются следующие причинные зависимости:

1. Замкнутость обоих контактов вызывает активное состояние электромагнита.

2. Разомкнутость хотя бы одного из контактов вызывает пассивное состояние электромагнита.

3. Активное состояние электромагнита вызывает разомкнутость контакта  $K_2$ .

4. Пассивное состояние электромагнита вызывает замкнутость контакта  $K_2$ .

Если мы нажмем кнопку при замкнутом состоянии контакта  $K_2$ , то контакт  $K_1$  замкнется и в силу только что указанных причинных зависимостей в системе будет происходить следующий процесс. Замкнутость контактов  $K_1$  и  $K_2$  вызовет активное состояние электромагнита (зависимость 1). Активное состояние электромагнита вызовет разомкнутость контакта  $K_2$  (зависимость 3). Разомкнутость контакта  $K_2$  вызовет пассивное состояние электромагнита (зависимость 2). Пассивное состояние электромагнита вызовет замкнутость контакта  $K_2$  (зависимость 4). Это в силу замкнутости контакта  $K_1$  вызовет активное состояние электромагнита (зависимость 1), что вызовет разомкнутость контакта  $K_2$  (зависимость 3). Это вызовет пассивное состояние электромагнита (зависимость 2), что вызовет замкнутость контакта  $K_2$  (зависимость 4), и т. д. Мы видим, таким образом, что при поддержании замкнутости контакта  $K_1$  в системе происходит периодический колебательный процесс, при котором указанные причинные зависимости работают в порядке 1 3 2 4 1 3 2 4... и контакт  $K_2$  все время переходит от замкнутого состояния к разомкнутому и обратно — звонок звонит.

Если же мы отпустим кнопку, то контакт  $K_1$  будет оставаться разомкнутым и в системе ничего не будет меняться: в силу причинных зависимостей 2 и 4 электромагнит будет все время в пассивном состоянии, а контакт  $K_2$  будет все время замкнутым. Звонок звонить не будет.



Предположим нашему второму примеру несколько слов об элементах современных быстродействующих электронных машин. Для нас сейчас существенно лишь то, что каждый из этих элементов имеет один «выход» и один или несколько «входов», причем каждый из этих «входов» и «выходов» может находиться в двух состояниях — под высоким напряжением и под низким напряжением<sup>1</sup>. Физическая природа этих элементов и детали их устройства нас интересовать не будут.

Применяются, в частности, элементы, которые мы называем *конъюнкторами*. Они имеют по несколько входов и по одному выходу. Подача высоких напряжений на все входы конъюнктора вызывает высокое напряжение на его выходе, а подача низкого напряжения хотя бы на один вход вызывает низкое напряжение на выходе. Конъюнктор с двумя входами осуществляет логическую конъюнкцию в том смысле, что он тогда, и только тогда, дает высокое напряжение на выходе, когда на первый вход и на второй вход будут поданы высокие напряжения. Мы обозначаем конъюнкторы знаком  $\&$ , означающим в математической логике союз «и».

Применяются также элементы, называемые *инверторами*. Инвертор имеет один вход и один выход. Подача высокого напряжения на вход инвертора вызывает низкое напряжение на его выходе, а подача низкого напряжения на вход инвертора вызывает высокое напряжение на выходе. Инвертор осуществляет, таким образом, операцию отрицания: он тогда, и только тогда, дает высокое напряжение на выходе, когда на вход *не* подается высокое напряжение. Мы обозначаем инверторы знаком  $\neg$ , означающим в математической логике отрицание.

**Пример 2.** Возьмем конъюнктор с двумя входами и инвертор. Соединим проводами выход конъюнктора со входом инвертора, а выход инвертора — с одним из входов конъюнктора, как показано на рис. 2. Другой вход конъюнктора присоединим к источнику напряжения (на рисунке источник напряжения не указан).

В получаемой системе имеются три узла  $y_1$ ,  $y_2$ ,  $y_3$  (см. рис. 2), каждый из которых может находиться в двух состояниях — под высоким напряжением и под низким напряжением. Между состояниями этих узлов имеются следующие причинные зависимости:

1. Высокие напряжения в обоих узлах  $y_1$  и  $y_2$  вызывают высокое напряжение в узле  $y_3$ .

---

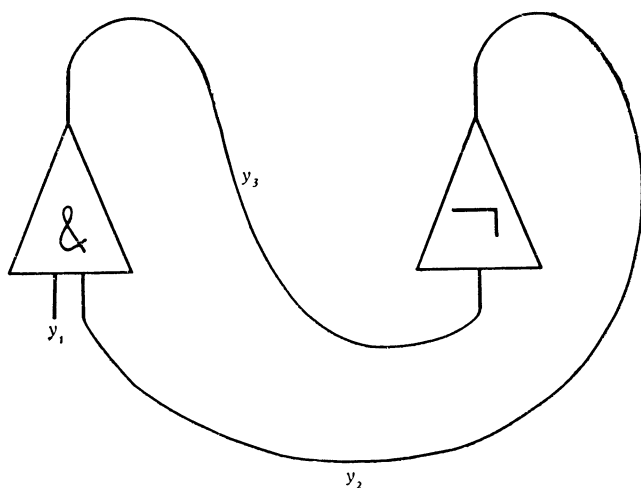
<sup>1</sup> Сравни «Синтез электронных вычислительных и управляющих схем», М., 1954, стр. 5.

2. Низкое напряжение хотя бы в одном из узлов  $y_1$  или  $y_2$  вызывает низкое напряжение в узле  $y_3$ .

3. Высокое напряжение в узле  $y_3$  вызывает низкое напряжение в узле  $y_2$ .

4. Низкое напряжение в узле  $y_3$  вызывает высокое напряжение в узле  $y_2$ .

Сравнивая эти причинные зависимости с причинными зависимостями, рассмотренными в примере 1, мы обнаруживаем



Р и с. 2.

очень большое сходство между этими двумя системами причинных зависимостей.

В самом деле, сопоставим

высокое напряжение в узле $y_1$	с замкнутостью контакта $K_1$ ,
низкое напряжение в узле $y_1$	с разомкнутостью контакта $K_1$ ,
высокое напряжение в узле $y_2$	с замкнутостью контакта $K_2$ ,
низкое напряжение в узле $y_2$	с разомкнутостью контакта $K_2$ ,
высокое напряжение в узле $y_3$	с активным состоянием электромагнита $\mathcal{E}$ ,
низкое напряжение в узле $y_3$	с пассивным состоянием электромагнита $\mathcal{E}$ .

Заменяя в четырех только что сформулированных причинных зависимостях состояния узлов  $y_1$ ,  $y_2$  и  $y_3$  соответственными состояниями контактов  $K_1$ ,  $K_2$  и электромагнита  $\mathcal{E}$ , мы обнаружим, что эти причинные зависимости перейдут в четыре причинные зависимости, рассмотренные в примере 1. Как говорят в таких случаях математики, рассматриваемые две системы причинных зависимостей изоморфны.

В силу этого изоморфизма наша вторая система будет вести себя совершенно аналогично первой, т. е. электрическому звонку. Если мы будем поддерживать вход конъюнктора  $y_1$  под высоким напряжением, то в системе возникнет колебательный процесс, в течение которого узлы  $y_2$  и  $y_3$  будут переходить от высокого напряжения к низкому и обратно. Если же мы будем поддерживать узел  $y_1$  под низким напряжением, то в системе ничего не будет меняться: узел  $y_3$  будет оставаться под низким напряжением, а узел  $y_2$  — под высоким. Первый случай аналогичен действию звонка, а второй — его бездействию.

В обоих рассмотренных примерах мы ограничились качественным описанием систем и протекающих в них процессов. Мы не интересовались периодами колебаний, очевидно зависящими от времени срабатывания причинных зависимостей. Для более подробного описания процессов, протекающих в рассматриваемых системах, разумеется, необходимо знать для каждой относящейся к делу причинной зависимости время срабатывания этой зависимости.

**Пример 3.** Несколько человек выстроились в цепь с целью передачи предметов из одного места в другое. Этими предметами, например, могут быть чемоданы, которые люди хотят погрузить в автобус. Пусть исходным местом, где все чемоданы первоначально находятся, будет подъезд дома. Пусть  $n$  означает число людей, вставших в цепь, а  $m$  — число чемоданов. Для удобства дальнейшего изложения перенумеруем людей вдоль цепи, начиная от человека, ближайшего к подъезду, который получает номер 1. Перенумеруем также чемоданы в том порядке, в каком их будет наиболее удобно брать человеку номер 1. Мы видим, что каждый чемодан может находиться в одном из следующих состояний:

- он может лежать в подъезде — нулевое состояние,
- он может находиться у  $i$ -го человека —  $i$ -е состояние,
- он может лежать в автобусе —  $(n+1)$ -е состояние.

У каждого чемодана имеется, таким образом,  $n+2$  возможных состояний.

Между состояниями чемоданов имеются следующие причинные зависимости:

- 1)  $i$ -е состояние  $j$ -го чемодана вызывает  $(i+1)$ -е состояние  $j$ -го чемодана ( $1 \leq i \leq n$ ,  $1 \leq j \leq m$ );
- 2) нулевое состояние первого чемодана вызывает первое состояние первого чемодана;
- 3) нулевое состояние  $j$ -го чемодана совместно со вторым состоянием  $(j-1)$ -го чемодана вызывает первое состояние  $j$ -го чемодана ( $1 < j \leq m$ );

4) нулевое состояние  $j$ -го чемодана совместно с нулевым или первым состоянием  $(j-1)$ -го чемодана вызывает нулевое состояние  $j$ -го чемодана ( $1 < j \leq m$ );

5)  $(n+1)$ -е состояние  $j$ -го чемодана вызывает  $(n+1)$ -е состояние  $j$ -го чемодана ( $1 \leq j \leq m$ ).

Предположим, что все эти причинные зависимости имеют одно и то же время срабатывания. Назовем это время тактом.

Если, как мы предположили, в начальный момент все чемоданы находятся в нулевом состоянии, то в силу наших причинных зависимостей в системе начнется процесс последовательного изменения состояний чемоданов, который закончится через  $2m+n-1$  тактов. К этому моменту все чемоданы окажутся в  $(n+1)$ -м состоянии, т. е. в автобусе, где они и будут в дальнейшем пребывать.

Эти примеры наводят нас на мысль ввести некоторое общее понятие, под которое все они подходят.

Пусть мы имеем систему нескольких материальных объектов, каждый из которых может находиться в нескольких состояниях. Будем называть эти объекты узлами. Пусть между состоянием узлов имеют место причинные зависимости следующего типа: состояние  $S_1$  узла  $K_1$  совместно с состоянием  $S_2$  узла  $K_2$ ... совместно с состоянием  $S_n$  узла  $K_n$  вызывает состояние  $S$  узла  $K$ . Системы этого типа, рассматриваемые совместно с действующими в них причинными зависимостями между состояниями узлов, мы будем называть *причинными сетями*.

Все три рассмотренных системы являются причинными сетями в этом смысле. В первых двух системах действовало по четыре причинных зависимости. В третьей системе таких зависимостей имелось  $(n+4)m-2$ .

При рассмотрении причинных сетей мы считаем время дискретным, поделенным на такты. Такт — это время срабатывания причинных зависимостей<sup>1</sup>. Такое «квантование» времени само собой напрашивается, например, при рассмотрении работы быстродействующих вычислительных машин, естественным образом делящейся на дискретные такты.

Набор причинных зависимостей причинной сети может оказаться достаточным для того, чтобы однозначно определить процесс, протекающий в сети при данных начальных состояниях ее узлов. Так обстояло дело в нашем примере 3.

---

<sup>1</sup> Мы здесь считаем, что все причинные зависимости системы имеют одно и то же время срабатывания. Можно рассматривать и более общие причинные сети с разными временами срабатывания причинных зависимостей. Это обобщение понятия причинной сети не представляется нам существенным.

Для однозначного определения поведения причинной сети может, однако, и не хватать причинных зависимостей. В таких случаях однозначная определенность процесса может иногда достигаться тем, что состояние некоторых узлов просто задается на каждом такте путем управления извне. Так обстояло дело в примере 1, где имелаась возможность управлять первым контактом посредством кнопки.

Естественно попытаться определить кибернетику как общую науку о причинных сетях. Однако если мы не сделаем при этом некоторых существенных оговорок, расширяющих понятие причинной сети, то такое определение кибернетики, безусловно, окажется слишком узким, далеко не исчерпывающим предмет кибернетики, как его принято сейчас понимать.

Во-первых, мы молчаливо предполагали относительно рассматриваемых причинных зависимостей, что они являются абсолютно жесткими в стиле лапласовского детерминизма, т. е. что они с необходимостью требуют некоторого события  $B$ , после того как имело место событие  $A$ . Однако те реальные системы, с которыми приходится иметь дело на практике, — контактные схемы, электронные машины, живые организмы и т. д. — не вполне подчиняются таким закономерностям: «замыкающиеся» контакты в действительности не всегда замыкаются при срабатывании управляющих реле, элементы электронных машин дают иногда сбой. Подобного рода «ошибки» машин и живых организмов могут происходить как в результате хаотических внешних воздействий, «помех», так и от внутреннего молекулярного хаоса, подчиняющегося лишь вероятностным законам квантовой механики.

Чтобы учесть подобные реально существующие явления, целесообразно допустить причинные зависимости следующего типа: состояние  $S_1$  узла  $K_1$  совместно с состоянием  $S_2$  узла  $K_2 \dots$  совместно с состоянием  $S_n$  узла  $K_n$  вызывает с вероятностью  $p$  состояние  $S$  узла  $K$ . Здесь  $p$  может быть любым числом, таким, что  $0 \leq p \leq 1$ . При  $p = 1$  мы имеем прежнюю лапласовскую причинную зависимость. При  $p < 1$  данная причинная зависимость является нелапласовской. Она не дает возможности с достоверностью предсказать состояние узла  $K$ .<sup>1</sup>

Допущение нежестких, нелапласовских причинных зависимостей расширяет понятие причинной сети и, например, делает возможным рассматривать как причинную сеть релейно-контактную схему с не вполне надежными контактами. Системы этого рода являются предметом практически очень важной

---

<sup>1</sup> Сравни В. А. Фок, Об интерпретации квантовой механики, «Философские проблемы современного естествознания», М., 1959, стр. 234.

теории надежности, исследующей, в частности, возможность построения надежно работающих систем из ненадежных элементов<sup>1</sup>.

Можно предполагать, что нервная система человека тоже представляет собой надежно работающую систему, построенную из не вполне надежных нейронов. Впрочем, мнения специалистов на этот счет в настоящее время расходятся.

Во-вторых, целесообразно обобщить понятие причинной сети еще в другом направлении. При рассмотрении какой-либо причинной сети мы считаем набор ее узлов постоянным, не изменяющимся с течением времени. Однако представляют несомненный интерес и такие системы узлов, в которых возможно появление новых узлов и исчезновение имеющихся.

В 1937 г. А. М. Тьюринг ввел свое понятие машины<sup>2</sup>. Машины Тьюринга явились одним из первых уточнений давно применявшегося в математике понятия алгорифма. Существенной составной частью машины Тьюринга является разделенная на квадратики лента, о которой предполагается, что она простирается в бесконечность как вправо, так и влево. Это можно понимать в том смысле, что как справа, так и слева при появлении соответствующих сигналов к ленте подклеиваются новые квадратики. На каждом такте своей работы машина «наблюдает» один из квадратов ленты и поступает в зависимости от своего «внутреннего состояния» и того, какой знак она «видит» на наблюдаемом квадратике. Она может при этом стереть этот знак, написать на том же квадратике новый знак, перейти к наблюдению соседнего квадрата, сдвигая ленту на один квадратик вправо или влево, и принять другое «внутреннее состояние». Если при этом наблюдаемый квадратик стоит в самом конце ленты, то машина дает оператору сигнал о подклейке. Знаки, которые машина «видит» и пишет на ленте, составляют некоторый фиксированный конечный алфавит.

Квадратики ленты можно рассматривать как узлы машины. Состояние такого узла определяется написанным на нем знаком и тем, наблюдается ли он в данный момент или нет. Кроме того, имеется узел внутренних состояний машины. Под-

---

<sup>1</sup> См. Б. В. Гнеденко, Некоторые вопросы кибернетики и статистики, «Кибернетика — на службу коммунизму», т. I, М. — Л., 1961, стр. 62—64; Дж. Нейман, Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент, «Автоматы», М., 1956; Э. Ф. Мур и К. Э. Шеннон, Надежные схемы из ненадежных реле, «Кибернетический сборник» № 1, 1960.

<sup>2</sup> А. М. Turing, On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, «Proceedings of London Mathematical Society», ser. 2, vol. 42, 1936—1937; vol. 43, 1937.

клеивание квадратиков следует здесь рассматривать как возникновение новых узлов. Таким образом, мы имеем дело с системой, аналогичной причинной сети. Различие состоит лишь в том, что в машине Тьюринга могут возникать новые узлы, причем, однако, их появление и состояние в момент появления причинно обусловлены. Набор возможных состояний всякого нового узла и причинные зависимости, касающиеся этих состояний, также причинно обусловлены и могут быть выписаны при появлении нового узла в качестве своего рода технического паспорта этого узла.

В качестве причинных сетей переменного состава можно, по-видимому, с успехом рассматривать многие биологические системы: виды животных, популяции и отдельные организмы. Роль узлов будут при этом играть те или иные биологические объекты, рассматриваемые как элементарные, неделимые.

Итак, представляется целесообразным обобщить наше первоначальное понятие причинной сети в двух направлениях: во-первых, допустить вероятностные причинные зависимости и, во-вторых, допустить причинно обусловленное появление новых узлов и исчезновение старых. Тогда мы, по-видимому, не совершим большой ошибки, если определим кибернетику как науку о причинных сетях.

Нужна ли такая наука? На этот вопрос, безусловно, можно ответить утвердительно.

В природе нас окружают очень сложные причинные сети — живые организмы и их коллективы. Наше собственное тело есть очень сложная причинная сеть.

Современное развитие электронной техники дало возможность строить самые разнообразные обслуживающие нас причинные сети: быстродействующие вычислительные машины; быстродействующие машины, управляющие производственными процессами; информационные машины; машины для автоматического перевода с одного языка на другой; машины для медицинских диагнозов; логико-математические машины, ищущие доказательства математических предложений, и т. д. Все эти причинные сети тоже очень сложны.

Наличие сложных причинных сетей — естественных и искусственных — вынуждает нас уметь разбираться в них. Возникает проблема анализа причинных сетей, проблема их описания.

В отношении искусственных причинных сетей возникают проблемы синтеза их и управления ими — главные практические задачи кибернетики.

Искусственные причинные сети строятся с целью обслуживать нас. Они должны работать заданным образом при таких-то

воздействиях на них. Возможность воздействия на причинную сеть обеспечивается наличием специальных узлов — входов причинной сети, состояния которых мы можем менять по нашему усмотрению, управляя тем самым причинной сетью. В случае электрического звонка — простейшей из рассмотренных выше причинных сетей — входом являлся контакт  $K_1$ , управляемый посредством кнопки.

В общей постановке проблемы синтеза причинных сетей и управления ими можно формулировать так: как следует строить причинные сети и как следует управлять построенными причинными сетями для получения желаемых результатов?

Эти две проблемы тесно связаны друг с другом, так как при построении причинной сети надо, конечно, иметь в виду, что ее будут использовать, что ею будут управлять. Сеть должна быть построена так, чтобы управлять ею было по возможности просто.

К синтезу причинной сети естественно предъявлять и другие требования.

Если тип элементов, из которых предполагается строить сеть, уже установлен, то естественно потребовать, чтобы сеть содержала возможно меньшее количество этих элементов. Так возникает проблема минимизации причинных сетей, состоящая в разработке экономичных методов синтеза причинных сетей. Идеалом здесь является достижение минимума той или иной численной характеристики степени сложности сети.

Существенное значение имеет и уменьшение времени работы сети, затрачиваемого ею на решение одной задачи. Дело в том, что, хотя современные электронные машины работают и очень быстро, задачи, решаемые ими, очень трудоемки, из-за чего время решения одной задачи может оказаться большим. Стремясь уменьшить это время путем надлежащего синтеза сети и надлежащего управления ею, мы должны иметь в виду, что эта сеть будет решать не одну данную задачу, а некоторый, быть может очень широкий, класс задач.

Различные требования к синтезу причинных сетей приходится учитывать совместно. Сама четкая формулировка возникающих при этом практических проблем представляет большие затруднения; что же касается до теоретических проблем минимизации причинных сетей, то даже простейшие из них представляют большие трудности. Существенные успехи в этом направлении достигнуты в последнее время О. Б. Лупановым и другими советскими учеными.

Есть основания думать, что кибернетика будет и в дальнейшем стимулировать развитие связанных с нею математиче-



ских наук, в особенности математической логики и теории вероятностей.

Мы определили предмет кибернетики через отношение причинной зависимости. Возникает естественный вопрос: как мы понимаем здесь причинную зависимость? Точнее говоря, когда мы говорим, что событие  $A$  является причиной события  $B$ ?

Пытаясь ответить на этот вопрос, мы не должны упускать из виду, что в кибернетике мы всегда имеем дело с некоторой абстрактной моделью интересующего нас объекта. При построении этой модели мы принимаем во внимание лишь некоторые известные нам законы природы и отвлекаемся от остальных, считая их несущественными. В соответствии с этим естественно говорить о причинной зависимости события  $B$  от события  $A$  в силу данной совокупности законов природы  $M$ . Мы предлагаем следующее определение этого отношения.

Будем говорить, что событие  $A$  есть причина события  $B$  в силу совокупности законов природы  $M$ , если соблюдены следующие условия: 1)  $B$  имеет место после  $A$ ; 2) наличие  $B$  может быть выведено из наличия  $A$  с помощью совокупности законов природы  $M$ , причем в процессе вывода речь идет лишь о событиях  $A$  и  $B$ , а также, быть может, о событиях, следующих (во времени) за  $A$  и предшествующих  $B$ .

Условие 1 поставлено здесь, чтобы согласовать предлагаемое определение с обычным, житейским словоупотреблением. Условие 2 устанавливает связь между событиями  $A$  и  $B$ : выводимость  $B$  из  $A$  с помощью законов природы из совокупности  $M$ . Эти законы мыслятся здесь как некоторые правила вывода. Оговорка о том, что в процессе вывода разрешается говорить лишь о самих событиях  $A$  и  $B$ , а также о событиях, промежуточных между ними во времени, необходима для того, чтобы исключить возможность некоторых резких расхождений данного определения с житейским словоупотреблением. Без этой оговорки выходило бы, в частности, что «видение молнии» есть причина события «слышание грома» по отношению к некоторой не очень сложной совокупности законов физики и физиологии<sup>1</sup>.

Сформулированное определение причинной зависимости относится лишь к жесткой, лапласовской причинности. Вероятностный, нелапласовский вариант определения мы получим, допуская, что законы природы из совокупности  $M$  могут иметь

---

<sup>1</sup> На это обстоятельство обратил мое внимание А. В. Кузнецов, предложивший данную оговорку и тем самым исправивший мое первоначальное определение, в котором она отсутствовала. Пользуюсь случаем, чтобы поблагодарить его за это.

вероятностный характер. При этом речь пойдет уже о том, когда следует считать, что событие  $A$  с вероятностью  $p$  вызывает событие  $B$  в силу совокупности законов природы  $M$ .

Интересно отметить, что некоторое, по-видимому приемлемое, определение понятия информации можно сформулировать, оставаясь в том же круге идей.

Пусть опять  $M$  есть некоторая совокупность законов природы. Для начала будем считать их жестко детерминирующими.

Условимся говорить, что событие  $A$  содержит информацию о событии  $B$  в силу совокупности  $M$ , если наличие  $B$  может быть выведено из наличия  $A$  с помощью  $M$ .

Исходя из этого определения, мы можем, например, говорить о том, что расположение Солнца, Земли и Луны в настоящий момент содержит информацию о будущем солнечном затмении, согласно законам механики, оптики и закону всемирного тяготения. Верно будет также, что это расположение содержит информацию о прошлом солнечном затмении в силу тех же законов. Что же касается причинных зависимостей между этими событиями, то, очевидно, верно, что расположение Солнца, Земли и Луны в настоящий момент есть причина будущего солнечного затмения в силу законов механики, оптики и закона всемирного тяготения; однако неверно, что это расположение есть причина прошлого солнечного затмения.

Из сравнения предлагаемых определений причинности и информации непосредственно видно, что  $A$  содержит информацию о  $B$  в силу  $M$ , коль скоро  $A$  есть причина  $B$  в силу  $M$ . Коротко говоря, причина содержит информацию о следствии.

Большой интерес представляет вероятностный вариант понятия информации, связанный с рассмотрением совокупностей нежестко детерминирующих законов природы. На этом пути мы приходим к понятию количества информации — центральному понятию построенной К. Шенноном теории информации<sup>1</sup>.

Изложение основ этой важной для кибернетики теории выходит, однако, за рамки настоящей статьи.

---

<sup>1</sup> См. А. М. Яглом и И. М. Яглом, Вероятность и информация, М., 1960. Читатель найдет в этой книге дальнейшие указания на литературу.

Существует много различных определений кибернетики как науки. Это обстоятельство связано с тем, что вплоть до настоящего времени во всем мире происходит работа по осознанию предмета и методов этой науки.

Понимание кибернетики, которое сложилось в Советском Союзе, не вполне совпадает с тем, которое имеет распространение за границей. Следует сказать, что характерное для советских ученых понимание задач кибернетики в более широком плане является мощным стимулом развития науки в правильном и нужном направлении.

Кибернетика — это наука об общих законах преобразования информации в сложных управляющих системах. Следовало бы дать точную формулировку понятия *информации*, однако это довольно трудно. Поэтому понятие информации лучше всего разъяснить на примерах. Рассмотрение примеров позволяет, с одной стороны, охарактеризовать информацию как совокупность возможных сведений, которые циркулируют в природе и обществе, в том числе и в созданных человеком технических системах, а с другой стороны, такое рассмотрение дает возможность описать ее как меру неоднородности в распределении энергии (или вещества) в пространстве и во времени. Информация существует постольку, поскольку существуют сами материальные тела и, следовательно, созданные ими неоднородности. Всякая неоднородность несет с собой какую-то информацию.

С понятием *информация* в кибернетике не связано обязательно свойство ее осмысленности в обычном житейском понимании. В научном плане понятие *информация* охватывает как те сведения, которыми люди обмениваются между собой, так и сведения, существующие независимо от людей. Скажем,

звезды существуют независимо от того, имеют люди информацию о них или нет. Существовая объективно, они создают определенную неоднородность в распределении вещества и поэтому являются источником информации.

Понятие *управляющей системы* в кибернетике также отличается от житейского представления об управлении. В обыденной жизни это представление связывается со специальностью человека. Например, инженер назовет управляющей системой совокупность регулирующих устройств, с помощью которых осуществляется управление производством. Понятие *управляющая система* в кибернетике гораздо шире. Управляющая система — это модель устройства, которое организует и осуществляет упорядоченную передачу информации и ее преобразование; воспринимает информацию от объекта управления, преобразует ее надлежащим образом и выдает информацию уже в том виде, который необходим для управления объектом; затем снова получает информацию от объекта управления, снова преобразует ее и т. д. В качестве конкретного воплощения управляющей системы могут служить и нервная система человека, и такой процесс, как восприятие формул человеком и оперирование с ними в ходе вычислений.

С управляющей системой связываются понятия прямой и обратной связи. Поток информации от управляющей системы к объекту управления передается по каналам прямой связи, а обратный поток — от объекта управления к управляющей системе — по каналам обратной связи. В теории автоматического регулирования и кибернетике различают замкнутые и незамкнутые системы управления; незамкнутой системой управления называют такую, в которой нет каналов обратной связи. Например, в системе «пешеход — светофор» последний посылает управляющие сигналы пешеходу о состоянии пути (путь свободен — зеленый, путь занят — красный) по прямому каналу. Непосредственной обратной связи между пешеходом и светофором нет. Эта система незамкнутая. Если рассмотреть систему «пешеход — водитель», то можно обнаружить как прямую связь, так и обратную, следовательно, это замкнутая система. Следует заметить, что часто незамкнутые системы являются частями более общей замкнутой системы. Как правило, представление о той или иной разомкнутой системе управления отражает определенный уровень абстракции (отвлечения). В действительности же требуемые обратные связи существуют, хотя во многих случаях найти их довольно трудно.

Кибернетика изучает управляющие системы с точки зрения преобразования информации. Преобразование информации —

это очень распространенная задача. Трудно найти область деятельности человека, где бы человек не прибегал к преобразованию информации. И в каждом конкретном преобразователе информации существуют определенные закономерности преобразования информации, свойственные только этой системе управления, и имеются специфические признаки, позволяющие отличать информацию, связанную с ним, от любой другой. Однако кибернетику как науку в первую очередь интересуют общие закономерности преобразования информации, и прежде всего законы преобразования информации в универсальных преобразователях.

Существуют два основных объекта изучения с этих позиций: мозг человека и универсальные цифровые машины. Главный интерес изучения человеческого мозга связан с изучением деятельности не одного человека, а целого социального коллектива. Изучая с кибернетической точки зрения мышление человека, следует иметь в виду не только и не столько мозг индивидуального человека, сколько коллективный разум человечества.

Сопоставляя мозг человека и универсальную цифровую машину, мы обнаруживаем, что и то и другое представляют собой универсальный преобразователь информации. Для человеческого мозга это представляется совершенно понятным и естественным. Чем бы ни был занят человек — будь то игра в шахматы, труд или дружеская беседа с товарищем, — его мозг постоянно занят переработкой информации. И нас несколько не удивляет то обстоятельство, что человек (человеческий мозг) может перерабатывать самую различную информацию: мы свыклись с универсальными возможностями человеческого мышления. Другое дело — создания нашей техники. Большинство из них даже в настоящее время, не говоря уже, скажем, о начале этого века, отнюдь не относятся к универсальным преобразователям информации. Построение технических систем, универсальных по своим возможностям в преобразовании информации, было новым шагом вперед в познавательной и практической деятельности людей. Такими системами являются универсальные электронные цифровые машины. Принципиально они не уступают человеку по своим возможностям преобразования информации. Все, что может сделать в информационном плане человек, может в принципе сделать и электронная машина.

Развитие кибернетики и появление универсальных цифровых машин не просто совпали по времени (40-е годы нашего столетия). Развитие электронно-вычислительной техники и выявление аналогии между мозгом человека и электронно-

вычислительной машиной послужили основой для создания этой новой науки. Интересно отметить, что универсальная вычислительная машина теоретическим путем была открыта до возникновения кибернетики как науки. Еще в 1936 г. в рамках математической логики появились две работы, в которых изучался процесс преобразования информации с самых общих позиций. Одна из них принадлежала английскому математику и логике А. М. Тьюрингу, другая — американскому математику и логике Е. Посту<sup>1</sup>. Тьюринг и Пост независимо друг от друга пришли к одному и тому же выводу — выводу о возможности универсального преобразователя информации. Они дали — каждый по-своему — теоретическое описание схемы такого преобразователя, предвосхитившее черты современных универсальных цифровых машин. Впервые возникла и была обоснована мысль, что любые процессы преобразования информации, сколь бы разнообразными они ни были, можно представить в виде последовательности определенного числа элементарных операций, причем типов таких элементарных операций или правил оказывается совсем немного. Позднейшее развитие показало, что с помощью этого небольшого набора весьма простых операций и правил можно составить, например, правила перевода с одного языка на другой, игры в шахматы, правила, с помощью которых осуществляется управление тем или иным производственным объектом. Поэтому можно говорить об универсальности набора элементарных правил или операций.

Следует заметить, что, когда только начали строить первые электронно-вычислительные машины, идеи, выросшие на почве математической логики, не использовались. Практика поставила перед конструкторами цель: создать машину, обладающую вычислительной универсальностью. И эту задачу ученые и инженеры решили. При этом никто не задумывался над тем, что универсальность в смысле вычисления оказывается универсальностью вообще, той универсальностью, которая фактически предполагается в схеме абстрактной машины Тьюринга. Однако вскоре стало ясно, что набор элементарных правил преобразования информации, лежащий в основе работы универсальной цифровой машины, пригоден для преобразования любой информации, а, следовательно, на машинах можно не только вычислять, но и решать шахматные задачи, «сочинять» стихи и т. д.

---

<sup>1</sup> A. M. Turing, On Computable Numbers, with an Application to the Entscheidungsproblem, «Proceedings of London Mathematical Society», ser. 2, vol. 42, 1936—1937; E. L. Post, Finite Combinatory Processes — Formulation 1, «Journal of Symbolic Logic», vol. 1.

Открытие того, что вычислительные машины — универсальные преобразователи информации, явилось фундаментальнейшим научным результатом, имеющим громадное практическое значение. Он прежде всего позволил сделать вывод о возможности технической автоматизации умственного труда.

С появлением электронных цифровых машин их начали сравнивать с мозгом. Возник вопрос, возможен ли «электронный мозг», ведь машина делает все совершенно иначе, чем мозг человека, да и процессы, происходящие в мозгу, отличаются от тех, которые происходят в машине. Название «электронный мозг» следует воспринимать просто как литературное сравнение, не больше. Однако надо отдавать себе отчет в том, что универсальная цифровая машина в принципе может делать не меньше — а даже, пожалуй, больше, — чем мозг человека. Практическое же расширение возможностей машин зависит от умения вложить в них программы соответствующих задач. Для овладения же программированием сложнейших задач из области интеллектуального труда человека нет, пожалуй, иного пути, кроме изучения процессов человеческого мышления. Надо ясно понять сущность мыслительных процессов человека, с тем чтобы все в большей степени моделировать их на электронно-вычислительных машинах. Это задача колоссальной трудности, к решению которой наука и техника только еще приступили.

Успехи нейрофизиологии создали базу для нужного понимания мыслительных процессов; большой вклад в изучение логического мышления внесла логика; психология дала важные результаты, относящиеся к процессу решения задач человеком, к механизмам образования ассоциаций, эмоций и т. д. Создание же электронно-вычислительных машин открыло перед изучением мышления такие новые и неожиданные возможности, о которых раньше и не могли подозревать биологи, логики и психологи.

Возьмем, к примеру, сочинение музыки. Поставим задачу обнаружения закономерностей поведения мозга музыканта, сочиняющего музыкальное произведение. На основе внешнего феноменологического описания хода мыслительного процесса музыканта попытаемся составить «правила сочинения музыки». Запишем эти правила, изучим их и переложим на «язык» программы электронной машины. Сразу же мы получим возможность моделировать на электронной машине процесс создания музыки. Следует заметить, что очень многое зависит от качества «правил сочинения музыки». Чем точнее они описывают процесс музыкального творчества, чем они полнее, тем интереснее эксперимент по сочинению музыки на машине.

Уже отсюда видно, что процесс изучения мышления превращается в процесс его моделирования на машинах. Однако для успеха такого моделирования необходимо изучение закономерностей мыслительных процессов, необходимо изучение строения и работы мозга.

Уже первые шаги кибернетиков и физиологов в этой совместной работе привели их к гипотезе о мозге как саморегулирующейся системе. Известно, что перестройка мозга осуществляется за счет изменения проводимости нервных клеток. Аналогично обстоит дело и в электронно-вычислительной машине, переменная структура которой реализуется за счет изменений в проводимостях ее элементов. В этом смысле мы не видим как будто принципиальной разницы между мозгом и машиной. Но это только на первый взгляд. Дело заключается в том, что мозг обладает свойством порождать организацию из беспорядка: из бессистемной как будто работы отдельных нейронов в нем возникает система, способная приводить к организованной, разумной деятельности его носителя — человека. Ясно также, что количество информации, хранимой мозгом человека, и количество возможностей преобразования информации увеличивается по мере роста человека, его воспитания, по мере наполнения мозга знаниями. В этом смысле можно сказать, что при решении задач происходит процесс самоорганизации мозга.

Естественно, что все описанное выдвигает в качестве важной задачи разработку общей теории самоорганизующихся систем, в которой нашли бы свое место самоорганизующиеся системы мозга. Эта задача в настоящее время решается на различных уровнях: уровне теории информации и абстрактных автоматов, уровне построения информационных языков, уровне структурных построений, когда исследуются возможности построения, или синтеза, из тех или иных компонентов систем, осуществляющих заданное преобразование информации, и т. д. Принцип самоорганизации находит все более широкое применение в кибернетике. Роль самоорганизующихся систем в биологической и технической кибернетике в будущем будет лишь возрастать.

Сейчас теория самоорганизующихся систем относительно еще мало дает для практики автоматизации. Однако надо уметь смотреть в будущее. Использование новых материалов в вычислительной технике и микроминиатюризация элементов цифровых машин могут сделать эту теорию очень важной в практическом отношении.

Теория всегда должна идти впереди практики, чтобы быть готовой для возможных технических приложений. Что касается



технических реализаций ее выводов, то для этого вполне подходят машины с определенными связями; с помощью этих машин можно воспроизвести любую самоорганизующуюся систему; моделировать системы мозга, изучая законы распределения в нем вероятностных связей, его интегральные характеристики и т. п. Таким образом, развитие теории самоорганизующихся систем в тесной связи с познанием тайн мышления, тайн работы человеческого мозга чрезвычайно перспективно для будущего.

Весьма интересна задача самовоспроизведения машин, которая также решается в рамках теории автоматов. Существует так называемая теория мозаик Мура, которая на уровне теории абстрактных автоматов объясняет воспроизведение самых сложных систем. Какой сложности должна достигнуть машина, чтобы она могла порождать еще более сложно организованные машины? Это вопрос не только общенаучного плана, это вопрос, имеющий прямое отношение к практике в связи с использованием машин для проектирования машин. Как известно, в настоящее время разрабатываются системы автоматического проектирования электронно-вычислительных машин, позволяющие получать более экономичные схемы таких машин. Принципиально возможно использовать машины для проектирования систем более сложных, чем они сами. Пока еще не все вопросы, связанные с описанными задачами, нашли свое решение, еще не создана полная система программ, которая охватила бы все этапы проектирования машин. Однако такая система программ в конце концов будет создана. Создание этой системы и будет означать практическое воплощение идеи самовоспроизводства автоматов.

Будучи мощной теоретической наукой, кибернетика находит себе большое практическое применение. Существует много различных областей приложения ее методов и идей: экономическая кибернетика, техническая кибернетика, биологическая кибернетика, кибернетика, изучающая организм человека в целом (а не только его мозг) с общих кибернетических позиций и т. д. В настоящее время кибернетика разветвляется на целую гамму прикладных наук, каждая из которых имеет свою собственную научную, в том числе чисто теоретическую, проблематику.

Значение кибернетики состоит еще и в том, что она начинает превращать многие науки, до настоящего времени строящиеся как описательные, в науки точные. Так появилась, например, математическая лингвистика, являющаяся в некотором смысле частью теории абстрактных автоматов. Кибернетика включает в себя значительную часть современной

математики<sup>1</sup>, но не ограничивается лишь математическим изучением управляющих систем, а широко пользуется приемами моделирования одних систем с помощью других. Именно методу моделирования обязана математическая лингвистика своими успехами. Благодаря математическим средствам кибернетики и применению приема моделирования начинает превращаться в точную науку и биология. Теперь, оказывается, можно на электронных машинах решать, скажем, такой вопрос: как пошел бы процесс биологической эволюции в условиях, отличных от земных?

Развитие кибернетики тесно связано с процессом математизации науки. К. Маркс считал, что наука только тогда достигает совершенства, когда начинает использовать математику во все более и более широком плане<sup>2</sup>.

Влияние теоретической кибернетики как науки в настоящее время распространяется почти на все области человеческого знания. Но это не значит, что она представляет собой философскую систему. Кибернетика не больше чем конкретный метод исследования. Так же как и математика, кибернетика вовсе не претендует на роль универсального законодателя по отношению к другим наукам. Средства кибернетики будут проникать в самые различные науки; философской же основой кибернетики и ее приложений в различных областях всегда останется мировоззрение и методология диалектического материализма.

Будущее автоматизации — важный методологический вопрос кибернетики. За рубежом иногда говорят, что машины вытеснят людей. Ясно, что это вопрос не кибернетический. Ведь из того, что машины могут делать нечто лучше, чем человек, вовсе не следует, что завтра машины будут командовать человеком. Вопрос о будущем автоматизации — это вопрос методологический, философский и социологический. Любая машина только продукт человеческого труда и творчества. Развитие технических средств кибернетики, как и техники вообще, определяется закономерностями социального порядка<sup>3</sup>. Применяются ли машины в условиях общества, разделенного на антагонистические классы, или в социалистическом или коммунистическом обществе, от этого зависит развитие самих машин, их социальная роль. Если в условиях общественной

---

<sup>1</sup> Обзор математических вопросов кибернетики см. в статье А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского «Теоретические проблемы кибернетики», «Проблемы кибернетики», вып. 6, 1963.

<sup>2</sup> См. «Воспоминания о Марксе и Энгельсе», М., 1956, стр. 66.

<sup>3</sup> См. В. М. Глушков, Гносеологическая природа информационного моделирования, «Вопросы философии» № 10, 1963.

собственности на средства производства кибернетические машины служат человеку, являясь могучим средством увеличения производительности труда, приводя к сокращению рабочего дня и т. д., то в условиях капитализма внедрение этих машин влечет за собой усиление эксплуатации и вытеснение «среднего» человека из сферы как умственного, так и физического труда. Эти вопросы не кибернетические по существу, это вопросы социальные, поэтому их должно изучать методами социальных наук, прежде всего методами исторического материализма. В свете исторического материализма очевидно, что кибернетические машины — это удивительное достижение человеческого гения — дадут человеку огромную власть над природой, позволят увеличить материальные ценности, создаваемые народом, который будет жить при коммунизме.

А. А. ЛЯПУНОВ,  
С. В. ЯБЛОНСКИЙ

## **О теоретических проблемах кибернетики**

Когда рассматривается теоретическая проблематика некоторой области науки, то основной является следующая постановка вопроса: из каких практических задач возникает потребность в новых теоретических исследованиях, каково их направление, каковы вытекающие из них результаты для практики? Именно с этой точки зрения целесообразно рассмотреть теоретические проблемы кибернетики, в частности ее математические вопросы, охарактеризовать ее основные задачи и те методы, которыми она пользуется.

В отличие от того подхода к кибернетике, который развивает А. А. Марков<sup>1</sup>, стремящийся дать внутреннее, формальное определение некоторых систем (причинных сетей), которые можно рассматривать как абстрактные модели того, что изучается в кибернетике, мы будем исходить не из внутренних для науки аспектов, а из аспектов внешнего характера. Очерчивать задачи каждой науки можно, с одной стороны, находясь в пределах данной науки; с другой стороны, можно подходить как бы извне и освещать в первую очередь взаимодействие данной науки с другими областями знания, стараясь на этой основе охарактеризовать ее собственную внутреннюю проблематику. Мы будем двигаться по этому второму пути.

Существенно то, что за последние десять лет процессы управления, с которыми приходится иметь дело в самых различных областях человеческой деятельности, стали много сложнее: они должны удовлетворять очень жестким и разнообразным требованиям. Управлять приходится весьма различными процессами как в области техники, так и в области общественных явлений. Во многих случаях приходится изучать имею-

---

<sup>1</sup> См. А. А. Марков, Что такое кибернетика? (настоящее издание).

щиеся в природе процессы управления. Больше всего с этим имеют дело различные отрасли биологии и медицины. Результаты исследований показывают, что в природе управление построено весьма совершенно и подчас очень сложно.

Для того чтобы уметь хорошо организовать управление в разных областях, нужно иметь образцы хорошего управления. В очень многих случаях процессы управления, имеющиеся в природе, могут служить такими образцами<sup>1</sup>.

Всякое управление строится так: имеется *управляющий агрегат* и *управляемый агрегат*. Они связаны между собой *каналами связи*. По этим каналам передаются *сигналы*. Эти сигналы вызывают определенные действия управляемого агрегата: имеется соответствие между поступающими системами сигналов и теми действиями, которые эти сигналы вызывают. Это соответствие называют *кодированием* информации; совокупность сигналов, которые могут быть переданы в данных условиях, называется *информацией*.

Уже здесь возникают специфические задачи, связанные, в частности, с тем, что поступление той или иной системы сигналов к действующему агрегату вызывает в одном случае одни, в другом случае другие действия этого агрегата. При рассмотрении этих задач основным является тот аспект, который относится к способам кодирования вызываемых действий передаваемыми сигналами. Встает вопрос о том, как построить такую систему передачи сигналов, которая обеспечивает правильные действия. В этой связи существенны два требования: во-первых, требование своевременной передачи необходимых сигналов и, во-вторых, требование передачи доброкачественных сигналов. Последнее означает, что помехи при передаче сигналов не приводят к искажению в действиях управляемого агрегата.

На этой почве появляется комплекс задач *теории информации*, который включает в себя отыскание способа кодирования информации, обеспечивающего необходимый режим работы действующего устройства. Характерно, что действующее устройство имеет возможность совершать много разнообразных актов, а роль передачи сигналов состоит в том, чтобы обеспечить определенный выбор из числа возможных актов. Здесь имеют место задачи двух типов: с одной стороны, требуется обеспечить пропускную способность канала связи, с другой — обеспечить помехоустойчивость. Эти задачи

---

<sup>1</sup> Такие термины, как *управляющая система*, *процесс управления*, *управление*, понимаются здесь и далее в самом обычном, общежитейском смысле.

приводят к вопросам, которые решаются чисто математическими методами. В некоторых случаях нужно уметь переходить от одной системы сигналов к другой и возвращаться к прежней системе. В связи с этим возникают вопросы, связанные с переходом от одного способа кодирования информации к другому и относящиеся к принципиальной возможности кодирования и декодирования. Решение этих вопросов связано с применением математических средств. Эти средства разработаны; они выражены в целом ряде математических положений, строго доказанных теорем. Использование этих теорем позволяет выяснить, в каких случаях те или другие каналы связи достаточны для обеспечения управления тем или иным агрегатом, какие требования надо предъявить к системе кодов в случае, когда проектируется та или иная система управления, и т. д. Результаты, получаемые теорией информации, с одной стороны, объясняют явления природы, а с другой стороны, используются в технике.

Особую роль играют каналы обратной связи. Сигналы, поступающие по этим каналам, информируют управляющую систему о том, в каких условиях протекает управление, какие трудности обнаруживаются в процессе управления, какие новые требования к управлению предъявляются и т. д. В общем задача обратной связи состоит в том, чтобы ставить в известность управляющую систему о происходящем в управляемой системе. Поступающую информацию приходится перерабатывать. Эта переработка производится в соответствии с целью управления. Управление нужно лишь тогда, когда требуется достичь определенной цели. В соответствии с имеющейся целью, которая тоже закодирована в управляющем устройстве, и пользуясь определенной системой правил или определенным уставом, т. е. набором элементарных правил и логических условий, осуществляется переработка той системы сигналов, которая поступает в управляющее устройство. В результате этой переработки управляющее устройство выдает свои управляющие сигналы.

Здесь возникает необходимость разработать методы, при помощи которых от системы сигналов, которые сообщают о течении процесса управления, можно переходить к рациональной системе командующих сигналов. Так образуется область теоретической кибернетики, которая называется *методами принятия решений*. К методам принятия решений относятся прежде всего методы планирования, так сказать, методы решения в статических условиях: известна определенная обстановка, и мы должны принять решение, которое будет неуклонно проводиться в жизнь. Для принятия решения в таких условиях

разработан метод *линейного программирования* и ряд его обобщений.

Эти методы находят применение в целом ряде областей. Они приводят к существенным результатам; в частности, они позволяют решать задачи, которые раньше, когда не было этих методов, не могли быть решены. Например, эти методы позволяют, если даны некоторая задача и определенный комплекс средств, которые могут быть использованы при ее решении, наиболее выгодным образом распределить задания по имеющимся средствам, с тем чтобы в наиболее короткий срок или при минимальных расходах получить решение.

Но иногда приходится принимать решение в условиях, когда все время поступают дополнительные сведения об изменении обстановки. В таких случаях решения принимаются лишь на ближайший отрезок времени. Такие задачи решаются методом, получившим название *динамического программирования* и имеющим широкое применение<sup>1</sup>.

В некоторых вопросах, связанных с принятием решения, приходится считаться со случайной ситуацией. Здесь большую роль играют *статистические методы*.

Иногда нужно уметь принимать решение в ситуации, когда приходится учитывать наименее благоприятные возможности, — например когда приходится иметь дело с «противником», который со своей стороны управляет своей системой в ущерб данной и стремится к тому, чтобы нанести последней максимальный ущерб. В этих случаях нужно искать такой образ действий, который при всех возможных действиях «противника» приведет к наиболее благоприятному для данной системы эффекту, — учитывая, что «противник» со своей стороны будет применять то, что для него является наиболее выгодным. Такие методы принятия решений получили название *игровых*. Они образуют *теорию игр*, имеющую практическое применение, например в экономических вопросах.

После того как решение принято, его надо реализовать. Для этого нужно осуществить большой комплекс согласованных между собой отдельных действий, для чего необходимо определить их последовательность, выяснить, как видоизменять образ действий при некоторых частных дополнительных обстоятельствах, и т. п. Этот комплекс задач решается *теорией алго-*

---

<sup>1</sup> Одна из Ленинских премий в 1962 г. была присуждена за цикл работ, относящихся к этому направлению. См. В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко, Л. С. Понтрягин, Принцип максимума в теории оптимальных процессов управления, «Труды I Международного конгресса международной федерации по автоматическому управлению», М., 1961.

*ритмов.* Теория алгоритмов возникла в недрах чистой математики. Однако, если внимательно всмотреться в эту теорию, можно заметить, что она пригодна для решения далеко не одних только чисто математических задач. В теории алгоритмов рассматриваются некоторые элементарные акты и выясняется, в каком случае возможна комбинация этих актов, дающая решение поставленной задачи.

Теория алгоритмов, разрабатываемая как часть математической логики, сыграла очень большую роль в математике. Она сейчас далеко вышла за пределы внутриматематической тематики; в настоящее время она имеет огромное значение в самых различных областях человеческой деятельности, таких, например, как управление производством, планирование народного хозяйства и т. п. К большому сожалению, теория алгоритмов до настоящего времени еще не пользуется тем вниманием, которого она заслуживает. Тот математический язык и общие методы, которые были разработаны на почве решения абстрактно-математических задач, нашли применение при решении вопросов самой разнообразной природы, и прежде всего в таких областях, как *программирование для электронных вычислительных машин*. Программирование для электронных вычислительных машин — область деятельности, в которой работают сейчас, вероятно, сотни тысяч людей на земном шаре, — опирается на теорию алгоритмов, являясь ее прикладным аспектом<sup>1</sup>.

Когда решение задачи описано как некоторый логический процесс переработки информации, нужно иметь определенную материальную систему (устройство), которая будет выполнять этот алгоритм<sup>2</sup>. Естественно поэтому, что очень важной областью кибернетики, по сути дела центральным звеном теоретической кибернетики, является *теория управляющих систем*, т. е. теория устройств, которые осуществляют переработку информации в соответствии с заданным алгоритмом. Этот раздел теоретической кибернетики имеет колоссальное практическое значение. Организация управления народным хозяйством, организация управления промышленностью — это важнейшие общегосударственные задачи. Составной частью решения таких

---

<sup>1</sup> Недоучет этого обстоятельства, недостаточное использование в программировании принципов теории алгоритмов приводит к тому, что громадная армия людей, занимающихся практическим программированием, часто работает недостаточно эффективно, с недостаточно высоким «коэффициентом полезного действия».

<sup>2</sup> Термин *устройство* понимается здесь весьма широко: это может быть машина, может быть человек, может быть часть человеческого организма или часть организма живого существа, какой-то комплекс органов, может быть агрегат, состоящий из машин и людей вместе, и т. д.



задач является создание определенных управляющих систем. Разработка математических методов конструирования управляющих систем является исключительно важной научной и практической задачей.

За последнее десятилетие работы в этой области были сильно продвинуты в некоторых частных направлениях. Основные усилия теоретиков на первых порах были направлены на изучение некоторых специальных модельных объектов с ограниченными возможностями, но зато с относительно обзоримой структурой. Эти модельные объекты выбирались так, чтобы в них сохранялись существенные связи друг с другом реальных объектов. Одними из первых модельных объектов, которые стали подвергаться систематическому изучению, явились *контактные схемы*, которые оказалось возможным изучать при помощи *алгебры логики*. Они хорошо описывались логическими средствами. В настоящее время разрабатываются математические теории, которые позволяют конструировать управляющие системы из данных устройств с заданными функциями, содержащие возможно малое число элементов. Это направление сейчас получило большое развитие.

Результаты, полученные в модельных областях, в целом ряде случаев обобщаются и переносятся на более широкий класс объектов. Так, вместо контактной сети можно рассматривать такие сети, которые содержат функциональные элементы довольно разнообразной природы. Оказывается, что методы синтеза, разработанные для контактных схем, находят применение и для более общих классов объектов.

Другим объектом, который имеет сейчас очень большое теоретическое значение, является *автомат*. *Теория автоматов* возникла на почве теоретического изучения функционирования *нервной сети*. Сначала была построена математическая модель нервной сети. В дальнейшем понятие нервной сети было постепенно обобщено и возникла общая теория автоматов.

Сейчас теория автоматов излагается как на логическом, так и на алгебраическом языке. Она представляет большую ценность. Изучаются связи между строением автомата и его функционированием. Особенно существенно то, что разрабатываются алгебраические методы упрощения автоматов некоторых классов. С помощью электронных вычислительных машин эти методы используются для упрощения некоторых практических конструкций.

Некоторые модели управляющих систем строятся в чисто математических рамках. Например, в качестве модельного объекта часто рассматриваются нормальные формы алгебры, логики и алгоритмы их упрощения.

Казалось бы, это элементарная задача. Однако в тех случаях, когда приходится иметь дело с функциями, зависящими от десятков переменных, вопрос о нахождении более простой записи этих функций оказывается очень трудным. Здесь возникает комплекс специфических алгоритмов, с помощью которых запись функции упрощается. И здесь мы сталкиваемся с тем, что методы, отработанные для узкого класса модельных объектов, доведенные до достаточного математического совершенства, оказываются применимыми в более широких рамках. Методы, которые были разработаны для упрощенной записи функций алгебры логики, с большим успехом применяются при решении задач массового обслуживания многоканальных систем. Решение задач, относящихся к таким системам, связано с применением своеобразного логического языка и имеет очень большое значение для рациональной организации производственных процессов.

\* \* \*

В настоящей статье поставлена задача охарактеризовать теоретические вопросы кибернетики исходя из ее взаимодействия с областями знания, к которым оказываются применимыми результаты и методы этой науки<sup>1</sup>. Кибернетика, с развиваемой нами точки зрения, — это наука об общих закономерностях течения процессов управления и строения управляющих систем. Она взаимодействует со многими отраслями знания, изучающими конкретные процессы управления. По своим методам кибернетика является математической наукой. При этом неверно трактовать кибернетику слишком расширительно. Скажем, математическую экономику в целом зачастую относят к кибернетике, иногда всякое применение математических методов в биологии считают принадлежащим кибернетике и т. п. Это неправильно. Кибернетика занимается изучением процессов управления и управляющими системами. Именно поэтому некоторые вопросы из области экономики, биологии и других наук подлежат изучению кибернетическими методами. Но это не является основанием для того, чтобы относить к кибернетике все вопросы, связанные с применением в этих науках математических средств. Например, нет оснований включать в кибернетику вопросы экономической статистики. Такая

---

<sup>1</sup> Сходному кругу вопросов посвящена наша статья «Теоретические проблемы кибернетики», «Проблемы кибернетики», вып. 9, 1963, в которой содержится более подробное изложение некоторых вопросов, рассматриваемых в настоящей работе. См. также *С. В. Яблонский*, Об основных понятиях кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 2. 1958.

же ситуация имеет место и в области математических вопросов кибернетики, о которых следует сказать более подробно.

Сейчас довольно широко распространена точка зрения, согласно которой кибернетика в своей основе имеет представление о дискретности. Правда, это не исключает использования в кибернетике и классического аппарата, основанного на идее непрерывности, однако дискретный подход к ней, безусловно, преобладает. Кибернетика в основе своей дискретна. Это накладывает свой отпечаток на все ситуации в кибернетике, отражается на всей проблематике соотношения дискретных и непрерывных методов в современной математике. В связи с этим одновременно с возникновением и развитием кибернетики стала интенсивно развиваться и дискретная математика. В настоящее время дискретную математику иногда стремятся включить в кибернетику. Нам кажется, что это также неверно: дискретная математика не есть часть кибернетики, хотя развитие дискретной математики тесно связано с кибернетикой и имеет большое значение для последней.

Хорошо известно, что классическая математика имеет высокоразвитый аппарат в виде математического анализа, дифференциального и интегрального исчисления и других разделов. В настоящее время в дискретной математике происходит формирование ее теорий, соответствующих указанным разделам классической математики. Так, формируются теории, являющиеся дискретным аналогом теории функций классической математики, происходит формирование дискретной геометрии и других разделов дискретной математики.

Использование в кибернетике далеко идущих абстракций ведет к широкому применению математического аппарата. Такой аппарат, с одной стороны, создается исходя из потребностей самой кибернетики, с другой стороны, берется из различных разделов математики. В связи с этим следует подчеркнуть особую важность для кибернетики таких разделов математики, которые существовали и до кибернетики, как *математическая логика, математическая статистика, теория вероятностей*; значение многих из этих дисциплин для кибернетики чрезвычайно велико, и можно полагать, что с течением времени оно будет лишь увеличиваться.

Выше говорилось об исключительной важности разработки математических методов конструирования управляющих систем. Разработка этих методов происходит на некоторых специальных модельных объектах, обладающих ограниченными возможностями, но зато относительно простой структурой. Эти модельные объекты выбираются так, чтобы сохранялось их сходство с реальными управляющими системами.

Указанные модельные объекты — совершенно четкие математические понятия. Они происходят из различных областей науки и техники. Некоторые из этих понятий заимствованы из математической логики, другие — из техники; таковы, например, понятия контактной схемы, электронной схемы, автомата; из биологии в кибернетику вошли такие объекты, как нервная сеть; из области вычислительных машин — программы и т. д. Для этих модельных объектов в теоретической кибернетике рассматриваются различного рода задачи. Рассмотрение этих задач тесно связано с различием в кибернетике *макро- и микроподходов*.

Известно, что изучение управляющих систем возможно с двух точек зрения: с макроскопической точки зрения (макроподход) и с микроскопической точки зрения (микроподход). При макроподходе управляющая система рассматривается как «черный ящик», внутреннее строение которого неизвестно или почти неизвестно. Такая ситуация имеет место, например, при изучении недоступных управляющих систем (в играх и пр.) или при рассмотрении управляющих систем, строение которых недостаточно полно изучено (в биологии и пр.).

Сущность макроподхода определяется некоторыми специфическими особенностями управляющих систем. В большинстве случаев управляющая система представляет собой объект дискретной природы, состоящий, вообще говоря, из большого числа элементарных управляющих подсистем (элементов). Это обстоятельство приводит к тому, что управляющая система выступает не только как объект, имеющий микроструктуру, но и как объект макроскопический. Наличие управляющей системы большой сложности делает трудным прослеживание зависимости макросвойств от микросвойств управляющей системы. Поэтому на первых этапах рассмотрения управляющей системы обычно прибегают к макроподходу (ср. подход И. П. Павлова к изучению высшей нервной деятельности). При макроподходе исследуемая управляющая система не допускает полного просмотра; единственно, что подлежит прямому наблюдению, — это полюсы схемы управляющей системы, ее внешняя память, а также поведение системы. Перед осуществлением макроподхода мы, как правило, не знаем ни схемы управляющей системы, ни информации, перерабатываемой ею, ни ее функции. Таким образом, с самого начала мы обладаем сведениями о назначении данного объекта и располагаем либо тривиальным, либо весьма расплывчатым представлением об объекте как управляющей системе. Поэтому прежде всего нужно раскрыть данный объект как управляющую систему.

Получение такой трактовки объекта связано с построением специального математического описания этого объекта, необходимого для последующих кибернетических рассматриваний. Сделать это на пути одного макроподхода невозможно: здесь необходим также и микроподход.

После того как произведены исследования на пути макроподхода, мы неизбежно должны переходить к микроподходу. Возможность микроподхода определяется тем, что управляющую систему можно расчленить на элементарные системы, причем число этих элементарных управляющих систем может быть довольно большим. Микроподход начинается всегда с выявления элементарных управляющих систем по отношению к управляющим системам, принадлежащим некоторому классу. На уровне микроподхода происходит выделение «кирпичей», из которых строятся управляющие системы.

Математическая проблематика в кибернетике связана с основными задачами кибернетики и уровнями применяемых в ней абстракций, поэтому целесообразно охарактеризовать математические задачи кибернетики в связи с основными задачами этой науки и развиваемым в ней макро- и микроподходом.

На уровне макроподхода следует выделить прежде всего задачу раскрытия кода информации. Сюда относится ряд вопросов из *теории информации*: изучение различных *принципов кодирования*; изучение свойств *кодowych систем*; исследование *алгоритмов кодирования и декодирования*. Далее следует выявление функций управляющей системы. Оно состоит в исследовании математического аппарата, описывающего функционирование управляющих систем, например разработку *конечнозначных и бесконечнозначных логик*; изучение *ограниченно-детерминированных операторов*; изучение *алгоритмов*; разработку *вероятностной логики и теории алгоритмов со случайными элементарными актами*.

Важным кругом математических задач, возникающих на уровне макроподхода, является изучение поведения управляющих систем. Этот круг задач включает изучение управляющих систем как *каналов связи* (оценка пропускной способности канала, вопросы помехоустойчивости и т. п.); исследование управляющей системы как системы *массового обслуживания* (проблема ожидания, оценки эффективности обслуживания и т. п.); изучение поведения управляющей системы с точки зрения достижения цели (*игровая проблематика*); изучение поведения управляющих систем с точки зрения их организованности (их сравнение, определение обучаемости и т. п.); оценка строения управляющей системы

исходя из ее поведения, в частности оценка объема внутренней памяти.

При микроподходе математически сформулированной является задача выявления связей между элементами. Здесь рассматриваются задачи, связанные с топологией управляющих систем, как-то: задачи, относящиеся к теории графов, теории логических сетей, и изучение схем (включая разработку различных языков для записи схем).

Важной областью задач математической кибернетики является *алгоритмизация управляющих систем*. К этой проблематике можно отнести изучение различных способов алгоритмизации управляющих систем (учет элементов, топологии, информации); разработку принципов приближенных алгоритмизаций (тактик), в том числе принципов *теории игр*, игровых математических моделей.

Далее следует *анализ* и, что особенно важно, *синтез управляющих систем*. Синтез управляющих систем включает в себя разработку методов синтеза управляющих систем, имеющих заданное поведение (включая задачу автоматизации синтеза); изучение асимптотических характеристик (в зависимости от элементов, топологии, типа алгоритмизации); выявление логической природы трудности синтеза минимальных схем (наиболее экономичных в каком-либо смысле); выделение семейств управляющих систем с существенно более простым поведением.

Тождественные преобразования управляющих систем составляют еще одну группу задач математической кибернетики. К этим задачам относится построение систем тождеств для преобразования управляющих систем различных классов; выяснение случаев, когда возможно построение конечной полной системы тождеств; разработка алгоритмов упрощения управляющих систем при помощи системы тождеств.

Своеобразные математические задачи возникают при разработке методов перехода от одной управляющей системы к другой в процессе их эволюции.

Особой областью математических вопросов кибернетики являются вопросы, относящиеся к изучению надежности управляющих систем: выяснение влияния выбора кода на надежность работы управляющей системы при ненадежности входов (построение помехоустойчивых кодов); синтез надежных управляющих систем из ненадежных элементов; разработка методов контроля работы управляющих систем.

Обращает на себя внимание общность математических задач для различных указанных выше модельных объектов.

С другой стороны, имеется и общность результатов: разработка теорий, относящихся к различным модельным объектам кибернетики, приводит часто к полностью совпадающим, иногда — к весьма сходным результатам. Имеет, далее, место и общность методов в различных областях математической кибернетики. Результаты, полученные для одного модельного объекта, переносятся на другой объект, — часто почти слово в слово.

Это побуждает в настоящее время заняться выработкой новых общих понятий и классификацией управляющих систем и модельных объектов математической кибернетики. Вряд ли можно сомневаться в том, что мы никогда не получим завершенную систему понятий кибернетики. Тем не менее продвижение в этом направлении необходимо. Потребность в выработке более общих, чем имеющиеся, понятий кибернетики и в классификации рассматриваемых в ней объектов возникает не просто из необходимости очертить предмет кибернетики: она, эта потребность, явственно ощущается в связи с решением возникающих в кибернетике задач. Сами задачи требуют выработки новых понятий. Приведем следующий пример.

В настоящее время значительные научные результаты получены в теории *контактных схем*. Но нечего скрывать: контактные схемы в автоматике — это вчерашний день науки и техники. Современная автоматика базируется на более совершенных элементах, на новейших достижениях электроники. При этом элементы современных технических устройств кибернетики прогрессируют очень быстро. Поэтому если пытаться каждый раз строить теории каких-то конкретных элементов, то такие теории будут заранее обречены на практическое бесплодие, потому что их невозможно будет использовать: они будут устаревать раньше, чем в них удастся получить существенные для практики результаты. Постановка общих задач, выработка общих понятий как раз и предохраняют от этой ситуации.

Надо сказать, что, хотя мы и подчеркиваем необходимость выработки общих понятий, связанных с модельными объектами кибернетики, мы отнюдь не недооцениваем значения изучения конкретных модельных объектов. Роль исследований в этой области и впредь будет очень большой. Возьмем, например, такой модельный объект, как автоматы. При исследовании этих модельных объектов непосредственно не получаются некоторые результаты, которых добиваются. Поэтому приходится вводить, так сказать, промежуточные объекты — объекты, не совпадающие полностью с автоматами, но похожие на них; приходится как-то решать поставленную задачу для этих промежуточных объектов и постепенно все более приближать их к автоматам.

Таким путем стоящая задача часто решается весьма плодотворно.

\* \* \*

В заключение остановимся на некоторых вопросах, связанных с задачей дальнейшего развития кибернетики. Прежде всего, специфика кибернетики требует своеобразной организации научной работы. Кибернетика по методам является наукой математической. Предмет ее весьма разнообразен, и она соприкасается с различными отраслями человеческой деятельности. В кибернетике большое значение имеет использование вычислительных машин и электронной вычислительной техники, так как это универсальное средство для моделирования управляющих систем и для проверки результатов исследований, которые получены теоретически. Поэтому необходима организация мощных коллективов, состоящих из математиков, представителей электронной вычислительной техники и специалистов в тех областях, к которым собираются кибернетику прилагать. Это прежде всего экономисты, технологи, биологи, лингвисты и т. д.

Далее, кибернетика — это область науки, имеющая очень большое практическое значение, но требующая значительных материальных затрат, привлечения и воспитания новых научных сил, разработки новой технической аппаратуры и т. п. Поэтому необходимо создание мощных научных центров, хорошо оснащенных экспериментальными и техническими возможностями и имеющих специалистов всех необходимых профилей. До тех пор пока такие научные центры не будут созданы, в области кибернетики будет больше благих пожеланий, чем реального дела.

С проблемой создания мощных кибернетических центров связана другая задача — задача подготовки кадров. Необходимо улучшить дело подготовки специалистов во всех областях, связанных с кибернетикой. Ярким примером в этом отношении являются биология и медицина. Перспективы применения кибернетики в этих областях чрезвычайно широки: помощь со стороны кибернетики и кибернетической техники врачам по обслуживанию операций; использование вычислительных машин для консультаций при постановке диагнозов заболеваний; применение кибернетики в области селекции, в некоторых областях управления сельским хозяйством и т. д. Отмахиваться от необходимости развивать кибернетическое направление в биологии сейчас нельзя ни при каких условиях. Для развития этого направления необходимо прежде всего распространение среди специалистов — биологов и медиков — математических



знаний и математической культуры. Однако в настоящее время ни медики, ни биологи не получают современного математического образования<sup>1</sup>. Хорошая, современная физико-математическая подготовка биологов и медиков является крайне необходимой. Вообще следует подумать о приближении современного высшего образования к тем требованиям, которые предъявляются жизнью в связи с тем, что появилась новая область науки и техники — кибернетика и электронно-вычислительная техника. В первую очередь здесь необходимо продумать вопрос о расширении и повышении уровня математического образования.

Следует, наконец, сказать о литературе по кибернетике. Полноценная научная литература по кибернетике и связанным с нею наукам печатается еще слишком малыми тиражами. Вместе с тем популярные издания — книги, рассчитанные на массового читателя, и статьи в периодической печати, часто некачественные, — широко распространяются. Назрела задача коренным образом улучшить дело с литературой в области кибернетики, написать и издать достаточным тиражом хорошие книги по различным ее областям.

---

<sup>1</sup> Изучаемые ими курсы математики весьма скудные, а главное не соответствуют тем требованиям, которые предъявляет к математическому образованию биолога и медика кибернетика.

Б. В. БИРЮКОВ,  
В. С. ТЮХТИН

## **О философской проблематике кибернетики**

В каждой области современного естествознания — и научного знания вообще — имеются вопросы, которые выходят за рамки данной науки и нуждаются в более широких понятиях и принципах, а также в разработке эффективных способов их теоретико-логического анализа. Это — вопросы методологии науки, философские и логические вопросы естествознания, вопросы диалектико-материалистического анализа основных понятий, методов и результатов конкретных областей знания.

В кибернетике методологическая проблематика занимает весьма видное место. Настоящая статья посвящена рассмотрению некоторой части актуальной философской проблематики кибернетики, раскрытию ее связи с диалектико-материалистическими идеями<sup>1</sup>.

### **1. Кибернетика и некоторые тенденции развития современного знания**

Кибернетика ознаменовала собой обобщение и взаимодействие на новой основе ряда ранее существовавших отраслей науки; ее идеи и методы проникли в такие различные области знания, как физиология, теория эволюции,

---

<sup>1</sup> Тематически настоящая статья примыкает к работе Л. Б. Баженова, Б. В. Бирюкова, А. Г. Спиркина «Философские аспекты кибернетики», являющейся послесловием к книге Г. Клауса «Кибернетика и философия», М., 1963. Вопросы, достаточно подробно освещенные в указанной работе, отмечены здесь лишь кратко. Наоборот, ряд вопросов, которым нельзя было уделить большого внимания в послесловии, разобраны в настоящей статье более подробно.

генетика, лингвистика, педагогика, экономика, химия; она выступила как общетеоретическая основа автоматизации производства и т. д. Характер кибернетики ярко отражает некоторые типичные черты развития науки в XX в.

Прогресс современной науки характеризуется двумя взаимосвязанными и дополняющими друг друга тенденциями — тенденцией к дифференциации научного знания и тенденцией к его интеграции. Первая тенденция проявляется в выделении отдельных разделов науки в относительно самостоятельные дисциплины со специфическими методами и задачами; в появлении таких наук, как биохимия и биофизика, физическая химия и химическая физика, квантовая химия, геофизика, астрофизика, радиоастрономия и др. Тенденция к интеграции научного знания выражается в формировании наук, которые изучают отдельные свойства или отношения, весьма общие для большого числа качественно различных областей действительности (абстрагируясь для этого в той или иной мере от специфики материальных носителей этих свойств), — в создании научных дисциплин (обычно математических), которые ориентируются на применение разработанных в них понятий, аппарата и полученных результатов в весьма различных областях науки и практики. К дисциплинам такого рода относятся, например, теория колебаний, фиксирующая законы, общие для механических, электромагнитных, акустических, геологических и других колебаний; другой пример — теория игр, применяющая вероятностные методы к весьма разнообразным задачам многих областей науки и практических приложений. Однако наиболее ярким выражением тенденции науки XX в. к интеграции знания является кибернетика.

Кибернетика представляет собой не просто объединение в рамках единого направления ряда различных дисциплин и областей научной и технической мысли, — таких, как теория автоматического регулирования и следящих систем, математическая логика, теория и техника связи, теория игр и др. Синтетический характер этого направления, глубокая общность его концепций связаны именно с особенностями предмета кибернетики — с особенностями процессов управления и преобразования информации, которые являются существенными для систем ряда областей действительности: живой природы, общественных коллективов, современной техники и т. д. Кибернетика изучает общие принципы построения систем управления, общие закономерности как процессов управления, так и неразрывно связанных с управлением процессов передачи, хранения и преобразования информации. В целях изучения процессов управления и связи кибернетика абстрагируется от определен-

ных аспектов содержания рассматриваемых систем, от тех или иных конкретных характеристик их физической природы; специфика процессов управления и связи в отличие от обычных взаимодействий позволяет в кибернетике отвлекаться также от энергетических характеристик сигналов и т. п.

Конечно, неверно было бы представлять себе кибернетику как науку, в которой происходит отвлечение от всякой качественной специфики процессов управления и процессов переработки информации в различных областях действительности. Степень указанного отвлечения в кибернетике и связанных с нею науках зависит от уровня абстрактности данной теории. Этот уровень может быть весьма различным — от очень высокого для чисто математических теорий, таких, например, как теория алгоритмов или теория (абстрактных) автоматов, до существенно менее высокого для конкретных разделов кибернетики, в которых трактуются вопросы, относящиеся к техническим реализациям. Однако и в чисто теоретических разделах кибернетики никогда по сути дела нет отвлечения от всех аспектов, связанных с качественной спецификой систем управления. Правда, конкретно-содержательный аспект входит в них часто в неявной форме — в форме тех реальных прообразов, которые скрыты за абстрактными идеализированными понятиями типа «машины Тьюринга», «конечного автомата» или «причинной сети» А. А. Маркова. Особенности реальных систем управления и задачи создания высокосложных автоматов заставляют вводить в теоретические разделы кибернетики учет таких факторов, как конечность скорости света (так как конечность скорости распространения света обуславливает определенные ограничения в быстродействии систем управления), квантово-механический характер взаимодействия объектов на субмолекулярном уровне (учет которого существенен при рассмотрении управляющих систем малых размеров) и т. д.

И тем не менее именно отвлечение от тех или иных сторон реальных систем управления, введение идеализирующих предположений, позволяющих освободить анализ рассматриваемого процесса от учета осложняющих его несущественных побочных обстоятельств, усмотрение общности закономерностей, характеризующих процессы, протекающие в системах управления и преобразования информации различной физической природы, создают предпосылки для развития кибернетики как самостоятельной науки, для интенсивного развития ее теоретического ядра, для формирования и совершенствования своеобразных методов этого нового направления научной и технической мысли. Именно эта черта кибернетики открывает перед ней широкие возможности применения к ка-

чественно различным областям действительности одних и тех же методов.

То обстоятельство, что кибернетика имеет большое синтетическое, обобщающее значение, целесообразно особо подчеркнуть в связи с проявляющейся до сих пор тенденцией трактовать кибернетику как некую сугубо техническую дисциплину, — как теорию автоматических устройств например. Непонимание интегративной роли кибернетики нередко оказывается связанным с отрицанием вообще правомерности ее как самостоятельного научного направления. Негативное отношение к кибернетике некоторых биологов, физиологов и специалистов в области автоматизации, имевшее место в недавнем прошлом, основывалось на том, что они не видели специфических для кибернетики задач и методов, более общих, чем в биологических и технико-теоретических дисциплинах. Такая суженная трактовка кибернетики несостоятельна, поскольку игнорирует кардинальную идею этого научного направления, состоящую в выявлении общности строения систем управления различной природы, осуществляемом методами, характерными для логико-математических и естественнонаучных дисциплин. Именно реализация этой идеи, стимулируемая все возрастающей практической потребностью исследования конкретных процессов управления, требует решения новых математических задач, приводит к развитию существующих и созданию новых направлений в математических основаниях кибернетики, — таких, как теория информации, линейное и динамическое программирование, теория игр, исследование операций, абстрактная теория автоматов, ряд разделов математической логики и др.

## 2. Кибернетика и принцип материального единства мира

Кибернетика выступает в качестве важнейшего элемента современного естественнонаучного обоснования диалектического материализма. Содержание и методы кибернетики дают обширный материал для углубления и конкретизации фундаментальных положений и категорий материалистической диалектики. Это прежде всего относится к принципу материального единства мира, к закону причинности и к идее развития. Теория информации, теория автоматов и другие дисциплины, входящие в теоретическую кибернетику, имеют актуальное значение для разработки такой важнейшей гносеологической категории, как категория отражения (о т о б р а ж е н и я).

Диалектико-материалистический принцип материального единства мира имеет прямое отношение к уяснению предмета кибернетики, он важен для гносеологического анализа ряда ее исходных понятий (например, понятий модели и моделирования), для рассмотрения ее методов. Материальное единство мира проявляется прежде всего в наличии законов (разной степени общности), которые присущи качественно различным предметам, явлениям, процессам и т. п. На «одинаковости», в известном смысле, законов, — проявляющейся, в частности, в совпадении их математических выражений, — в применении к явлениям из достаточно различных областей (даже относящихся к различным формам движения материи) основан *метод моделирования*, уже давно применяющийся в науке. Кибернетика выявила новый ряд таких законов чрезвычайно широкой общности — законов, относящихся к информационным процессам и к процессам управления, — и тем самым чрезвычайно расширила возможности моделирования<sup>1</sup>. Хотя понятие модели — и родственные ему понятия подобия, аналогии и т. п., — а также понятие моделирования употребляются в науке, и в частности в математике, логике и кибернетике, в различных смыслах<sup>2</sup>, тем не менее с гносеологической точки зрения существенно отметить, что все эти смыслы, тем не менее, связаны с применением, при характеристике отношения между моделью и моделируемым процессом, точных понятий *изоморфизма* и *гомоморфизма*. Поэтому гносеологический анализ понятий изоморфизма и гомоморфизма (в применении к запросам кибернетики) — так же как и аналогичный анализ понятий *модели*, *подобия* и *моделирования* — составляет важную область методологической работы в области кибернетики<sup>3</sup>.

В диалектическом материализме принцип материального единства мира неразрывно связан с принципом всеобщей связи и универсального взаимодействия предметов и явлений дейст-

---

<sup>1</sup> Мы не ставим себе задачей в данной статье дать характеристику метода моделирования и его кибернетического аспекта. Проблемы, связанные с моделированием, с понятием модели в кибернетике и тех или иных областях ее приложений, рассматриваются в ряде статей, помещенных в настоящей коллективной монографии. См. *И. Б. Новик*, К вопросу о единстве предмета и метода в кибернетике; *А. А. Ляпунов* и *С. В. Яблонский*, О теоретических проблемах кибернетики; *Е. Н. Соколов*, О моделирующих свойствах нервной системы; *В. В. Чавчанидзе*, Модели науки и кибернетики, и др. Анализ самих понятий модели и моделирования можно найти в статье Ю. Гастева «Модель», «Философская энциклопедия», т. 3.

<sup>2</sup> См. *Ю. Гастев*, Модель, «Философская энциклопедия», т. 3.

<sup>3</sup> В применении к понятию изоморфизма коротким — но достаточно содержательным — примером такого анализа является статья: *Ю. Гастев*, Изоморфизм, «Философская энциклопедия», т. 2.

вительности. С диалектико-материалистической точки зрения способность вещей, объектов, явлений, процессов (часто качественно глубоко различных) к разнообразным взаимодействиям можно рассматривать по сути дела как проявление материального единства мира.

На универсальности процессов взаимодействия в природе и основано свойство, лежащее в фундаменте самого здания материи, — свойство отражения (отображения), о существовании которого писал В. И. Ленин<sup>1</sup>. Это связано с тем, что изменения (относительно устойчивые, статические «отпечатки» или динамические процессы), возникающие в вещах (объектах, процессах, явлениях) в ходе их взаимодействия, приводят к возникновению определенного «сходства» взаимодействующих вещей, к тому, что вещи могут рассматриваться как источник информации друг о друге, что можно говорить об изоморфизме (или гомоморфизме) определенных «сторон» взаимодействующих вещей, о том, что одна вещь (процесс, явление) является отображением другой. Это отображение может носить весьма «осязаемый» характер: тождество (в определенном смысле) структуры взаимодействующих вещей может быть весьма наглядным; но оно может быть и достаточно опосредствованным, усматриваемым лишь после соответствующего анализа взаимодействующих вещей. Различным градациям (с отмеченной точки зрения) видов отображений взаимодействующих друг с другом вещей соответствуют различные виды моделирования: так называемое физическое моделирование (принципы которого основаны на результатах теории размерности и теории подобия), предметно-математическое моделирование (важным частным случаем которого является электрическое моделирование, лежащее в основе работы вычислительных машин непрерывного действия), моделирование на цифровых машинах и, наконец, так называемое знаковое, или логическое, или абстрактно-математическое, моделирование<sup>2</sup>. Существенно, что именно развитие кибернетики, — в рамках которой применяются все указанные виды моделирования, а некоторые из них, особенно моделирование на универсальных цифровых электронных вычислительных машинах, играют в ней даже выдающуюся роль, — открыло путь к осознанию глубокой общности всех этих видов моделирования с гносеологической точки зрения.

<sup>1</sup> См. В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 18, стр. 40, 91.

<sup>2</sup> Не имея возможности подробно останавливаться на различных видах моделирования, мы отсылаем читателя к статье Л. Баженова, Б. Бирюкова и В. Штоффа «Моделирование», «Философская энциклопедия», т. 3.

В технике общее свойство отражения используется человеком в системах управления в связи, где оно принимает форму организованных в пространстве и во времени процессов, называемых сигналами в широком смысле слова. Для описания процессов, связанных с передачей и приемом сигналов и их переработкой, в науке еще до возникновения кибернетики стало использоваться понятие информации. С оформлением кибернетики это понятие (а точнее говоря, целая группа понятий, таких, как количество информации, переработка информации, избыточность информации и др.) приобрело в ней выдающееся значение. В кибернетике понятие информации играет такую же фундаментальную роль, какую в физике играет понятие энергии. Введение понятий о количестве информации, о законах ее передачи, хранения и преобразования позволило рассматривать с математической точностью, с единой информационно-кибернетической точки зрения процессы связи и управления самой различной природы. Понятие информации в кибернетике — в свете тех теорий и понятий, которые используют для его уточнения — можно рассматривать с некоторой точки зрения как естественнонаучное выражение определенных аспектов философского понятия отображения.

Тесная связь по содержанию между категориями отражения и взаимодействия объясняет нам взаимосвязь, обнаруживаемую между понятием информации и понятием причинно-следственной связи. В рамках кибернетического круга идей эта связь в наиболее выпуклой форме была подчеркнута А. А. Марковым в его концепции кибернетики как общей теории причинных сетей<sup>1</sup>. Для углубления понимания причинности важное значение имеют и другие идеи, понятия и результаты кибернетики. Так, фундаментальное понятие кибернетики — *обратная связь* явилось весьма плодотворным в анализе причинных зависимостей в сложных системах управления, начиная от исследования деятельности живых организмов и вплоть до изучения некоторых явлений в человеческом обществе. Теория систем с обратной связью позволяет выразить сложные, развертывающиеся во времени формы взаимодействия на естественнонаучном языке. Понятие причинности нашло свою конкретизацию во многих других результатах кибернетики; особый интерес при этом имеет открывающаяся возможность углубления наших взглядов на соотношение категорий *причинности, случайности и необходимости*, а также *детерминизма и телеологии*<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> См. А. А. Марков, Что такое кибернетика? (настоящее издание).

<sup>2</sup> См. Г. Клаус, Кибернетика и философия. О некоторых из отмеченных аспектов речь пойдет у нас далее.



### 3. Кибернетика и идея развития

Результаты кибернетики как науки о процессах управления в сложных динамических (т. е. изменяющих свое состояние) системах вносят свой вклад и в категорию развития. Принцип материального единства в его динамическом аспекте (аспект взаимодействия) непосредственно смыкается с принципом развития, говорящим о неизбежности появления новых материальных образований, объектов, процессов, новых структур, новых свойств и отношений в ходе взаимодействия вещей. С другой стороны, связь обоих принципов выражается в том, что более сложные системы, включая в себя более простые и образуя иерархию подсистем, имеют также и генетическую связь с более простыми системами, из которых они исторически развивались. Примером может служить связь между различными «этажами» нервной системы позвоночных и этапами ее эволюции в ходе развития животного мира.

Кибернетика уже на современном уровне может быть полезной для уяснения процессов развития, особенно в органическом мире. Это хорошо видно на материале статьи А. А. Ляпунова<sup>1</sup>, в которой, в частности, рассматривается эволюция управляющих систем. Работы по моделированию процессов органической эволюции на электронной цифровой машине проводились под руководством В. М. Глушкова в Институте кибернетики АН УССР<sup>2</sup>.

Правда, если говорить о моделировании естественно сложившихся систем управления (прежде всего в живой природе), то кибернетика наших дней занимается их моделированием главным образом как готовых, ставших систем, а не воспроизведением их эволюции в плане онто- и филогенеза. Эта более высокая и трудная задача соприкасается с проблемой создания простейших моделей самоорганизующихся жизнеспособных систем, обладающих свойствами самосохранения и подлинного развития при взаимодействии с окружающей средой. Работы в этом направлении фактически лишь разворачиваются. Тем более важно подчеркнуть, что проблема моделирования сложных развивающихся систем вряд ли может плодотворно решаться без разработки методов, описывающих их генезис. Анализ истории происхождения (или последовательности конструирования)

---

<sup>1</sup> См. А. А. Ляпунов, Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов, «Проблемы кибернетики», вып. 10, 1963.

<sup>2</sup> См. А. А. Летичевский, А. А. Дородницына, Моделирование естественного отбора на вычислительной машине, «Принципы построения самообучающихся систем», Киев, 1962.

системы помогает выявить характерные черты данной системы и показать степень приближения той или иной модели к оригиналу. Напомним, например, что, как подчеркнул С. И. Вавилов<sup>1</sup>, без знания объективной необходимости возникновения и направления эволюции органа зрения нельзя понять его приспособительную функцию; аналогично без исторического подхода к деятельности органов чувств нельзя различить понятия адекватных и неадекватных раздражителей и т. п. Поэтому способы описания систем, уже сейчас применяемые в кибернетике, часто строятся так, что учитывают — в той или иной форме или степени — также и историю системы: используют для определения будущих состояний системы ее прошлые состояния. Как подчеркивает Б. С. Грязнов<sup>2</sup>, учет прошлых состояний системы особенно важен тогда, когда имеет место ненаблюдаемость части системы. Предсказание поведения неполностью наблюдаемой системы возможно лишь благодаря обращению к ее истории. Рассмотрение этого круга вопросов непосредственно связано с категориями исторического и логического.

Мы видим, таким образом, что кибернетика дает богатый материал для дальнейшей разработки многих принципов и категорий диалектического материализма и сама непосредственно заинтересована в такой разработке. Помимо отмеченных выше принципов и категорий, кибернетика углубляет понимание соотношения таких понятий, как модель, образ, сигнал и знак, помогает раскрыть диалектическое отношение категорий простого и сложного, части и целого, качества и количества, дискретного и непрерывного, целесообразности и приспособляемости, возможного и действительного и других, подводя под них базу математических теорий и методов. О значении кибернетики для обогащения некоторых из отмеченных категорий будет сказано ниже. Пока же подчеркнем, что при всей широте применения своих методов кибернетика остается специальной наукой и ни в коей мере не подменяет собой философского анализа.

#### 4. Кибернетика и принцип единства количества и качества

Закон материалистической диалектики о взаимной связи качества и количества, о переходе количественных изменений в качественные также входит в методологическую базу кибернетики. Категория *качества* —

---

<sup>1</sup> См. С. И. Вавилов, Глаз и солнце, М., 1956.

<sup>2</sup> См. Б. С. Грязнов, Некоторые гносеологические аспекты кибернетики (настоящее издание).

понятие о целостной характеристике объекта — предполагает вместе с тем раскрытие специфики объекта. При современном состоянии научного знания понятию качества соответствует характеристика вещи как определенным образом организованной системы компонентов, обладающей относительной устойчивостью (динамической или статической). Такое понимание качества относится как к различным видам материи и формам ее движения, так и к состояниям и этапам развития объектов<sup>1</sup>.

Кибернетика подводит к идее общего структурного подхода к объектам внешнего мира, к рассмотрению их в качестве систем, различных по уровню организации, относительной устойчивости, по характеру их функционирования, т. е. по способам взаимодействия составляющих систему компонентов и подсистем, а также целостной системы со средой, что имеет, несомненно, значение для обогащения категории качества.

Поскольку качественно различные объекты как системы могут быть охарактеризованы их структурами, то такой подход в принципе допускает возможность формализации и описания объектов на языке структурных и количественных отношений, т. е. применение методов и языка математики и логики. Такой подход тем более оправдан, что современная математика отображает количественные отношения и пространственные формы действительного мира во всей их общности; она вводит в рассмотрение многообразные абстрактные структуры (алгебраические, топологические и др.) и преобразования над ними, являющиеся далеко идущим обобщением количественных отношений и пространственных форм действительности. Как подчеркивают Н. Бурбаки, главным объектом современной математики все более и более становится понятие математической структуры, а не понятия числа, величины и даже множества<sup>2</sup>.

Качественно различные объекты могут иметь как общие черты в их структуре (различные виды и уровни подобия), так и специфические. И те и другие могут выражаться посредством логических и математических соотношений. Это справедливо относительно любых систем; тем более это справедливо для систем управления, изучаемых кибернетикой. В кибернетике, вследствие отвлечения от конкретной физической природы систем управления, логико-математические методы являются преобладающими, а сама (теоретическая) кибернетика является

---

<sup>1</sup> См. В. Тьюгин, Закон перехода количества в качество в свете данных современной науки, «Проблемы научного метода», М., 1964.

<sup>2</sup> См. Н. Бурбаки, Архитектура математики, «Математическое просвещение», вып. 5, 1960, стр. 104—106; Н. Бурбаки, Очерки по истории математики, М., 1963.

по существу математической дисциплиной. Существенно при этом, что развитие кибернетики дает богатый фактический материал для того более широкого понимания категории количества, которое выкристаллизовалось в результате новейшего развития математики и математической логики.

Это понимание оформилось вместе с распространением категории количества и связанных с нею математических методов на любые рассматривания, при которых изучаемые объекты трактуются как так называемые *неспецифицированные объекты*, т. е. как объекты, индивидуализация которых не простирается далее простой возможности их различения и отождествления (что предполагает подход к объектам как к имеющим относительно устойчивый, «жесткий» характер). Эту сторону дела подчеркивает С. А. Яновская, когда пишет: «Все, что относится к области соотношений, верных для неспецифицированных ближе объектов (которые мы тем не менее умеем различать и отождествлять), и что поэтому может быть выражено с помощью букв, — при условии, что с последними мы умеем оперировать по точным правилам, характерным для математических исчислений, — можно считать примером количества или количественных соотношений. Это является тем более обоснованным, что всякое буквенное исчисление допускает так называемую арифметизацию, с помощью которой его операции превращаются в некоторые вычислимые функции»<sup>1</sup>.

Теоретическая кибернетика распространила такой подход на системы и процессы управления, информационные процессы и т. п., предоставив тем самым материал, обогащающий диалектико-материалистическую категорию количества. Такой материал содержится в работах, рассматривающих задачи теоретической кибернетики и ее математический аппарат. К обогащению категории количества ведет и бурное развитие тех областей математики, которые составляют математическую базу кибернетики. А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский, подчеркивая, что математическая проблематика кибернетики связана с ее основными задачами, пишут о том, что «использование в кибернетике далеко идущих абстракций ведет к широкому применению математического аппарата. Такой аппарат, с одной стороны, создается исходя из потребностей самой кибернетики, с другой стороны, берется из различных разделов математики. Следует отметить, что уже на начальной стадии развития кибернетики возникла необходимость в широком использовании математической логики, теории вероятностей, математической

---

<sup>1</sup> С. Яновская, Количество (в математике), «Философская энциклопедия», т. 2, стр. 562. Речь в статье идет о категории количества вообще.

статистики, теории функций действительного переменного, теории множеств, функционального анализа, топологии, теории чисел, абстрактной алгебры и т. п.»<sup>1</sup>. Анализ философских вопросов, выдвигаемых развитием математической базы кибернетики, входит в качестве неотъемлемой части в ее философскую проблематику.

Многие идеи и результаты кибернетики представляют большой интерес в свете диалектико-материалистического закона перехода количественных изменений в качественные. Особое значение при этом имеет кибернетическая проблематика, относящаяся к моделированию систем большой сложности и к проектированию систем с заданными функциями. В этой связи отметим важность выдвинутой А. Н. Колмогоровым идеи диалектики очень большого. Говоря об изучении явлений жизни с точки зрения кибернетики, он высказал мысль, что здесь существенна не диалектика бесконечного, а диалектика очень большого: чисто арифметическая комбинация большого числа элементов создает и непрерывность, и новые качества<sup>2</sup>. По-видимому, эта идея окажется плодотворной не только в применении к кибернетике и ее приложениям к живой природе, но и в математике (в философской проблематике которой до сих пор ведущей была диалектика конечного и бесконечного).

## **5. Кибернетика и принцип единства дискретного и непрерывного подходов**

На математические средства кибернетики оказывает существенное влияние то обстоятельство, что одним из исходных ее принципов является представление о дискретности процессов управления и строения систем управления. Преобладание в кибернетике дискретного подхода отмечено многими исследователями; в настоящем сборнике об этом говорят А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский<sup>3</sup>; об этом же пишет и А. Н. Колмогоров<sup>4</sup>. В рамках этого подхода получили применение и развитие теоретико-множественные,

---

<sup>1</sup> А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский, Теоретические проблемы кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 9, 1963, стр. 19.

<sup>2</sup> См. А. Н. Колмогоров, Жизнь и мышление как особые формы существования материи, «О сущности жизни».

<sup>3</sup> См. А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский, О теоретических проблемах кибернетики (настоящее издание).

<sup>4</sup> См. А. Н. Колмогоров, Жизнь и мышление как особые формы существования материи, «О сущности жизни».

теоретико-вероятностные и иные методы. Дискретный подход позволил применить в кибернетике широкий круг средств: алгебраические и логические методы, методы теории операций и теории игр и др. Эти области математики получили значительный толчок к своему развитию в связи с решением задач кибернетики. Разработка дискретных методов анализа и синтеза кибернетических систем идет во многих направлениях (теория схем релейного действия и теория конечных автоматов, операторные методы переработки информации и метод составления логических схем программ, теория логических сетей, теория графов и т. п.).

Следует, однако, иметь в виду, что распространенность и плодотворность дискретного подхода в кибернетике в значительной мере обязаны (в известном смысле) абстрактному характеру анализа систем управления в (теоретической) кибернетике, т. е. известной идеализации, огрублению процессов функционирования реальных устройств и систем. Таковы абстракции квантованных сигналов, дискретных шагов изменения времени, дискретных элементов задержки (вместо непрерывного хода запаздывания) и т. д. Эти абстракции имеют свои теоретические основания, опираются на соответствующие научные результаты (примером может служить теорема о квантовании непрерывного сигнала, принадлежащая В. А. Котельникову) или на плодотворность теории, построенной с их использованием. В качестве примера последней можно привести теорию алгоритмов. Анализ информационных процессов функционирования систем управления базируется на методах теории алгоритмов. При алгоритмизации информационный процесс расчленяется на конечную дискретную последовательность следующих друг за другом математических и логических операций, которые приводят к реализации определенной цели. Доказанная всем развитием кибернетики эффективность методов теории алгоритмов является свидетельством плодотворности лежащего в основе этих методов представления об элементарных дискретных актах переработки информации — шагах применения алгоритма.

Применяя некоторый конкретный аппарат, содержащий абстракции, типичные для дискретного подхода, к реальным системам управления, необходимо учитывать, в какой мере этот аппарат огрубляет действительное положение вещей. Конечно, это огрубление может быть в принципе снято дальнейшим развитием дискретного аппарата. «Не существует состоятельных аргументов в пользу принципиальной ограниченности возможностей дискретных механизмов по сравнению с непре-

рывными»<sup>1</sup>. Однако следует учитывать реальные трудности создания чисто дискретных моделей высокосложных систем управления, связанные, в частности, с необходимостью оперировать функциями от весьма большого числа аргументов. При описании функционирования сложных систем управления (примерами таких систем могут служить многие биологические системы) представления о дискретности их структуры и о дискретном (по тактам) характере их работы во времени весьма сильно ограничивают возможности исследователя. Потребность большего приближения теории к реальным устройствам и преодоления указанных трудностей вызывает во многих случаях дополнение дискретного принципа принципом непрерывности; например, абстрактная теория логических сетей в целях приложений дополняется разработкой различных вариантов теории «реальных» логических систем, учитывающих те или иные реальные особенности их элементов, связанные со свойством непрерывности; в других случаях релейные устройства сочетаются с агрегатами непрерывного действия и т. д. Больше того, в связи с рассмотрением высокосложных систем возникла идея об отказе или об ослаблении в том или ином направлении требования дискретности и введении в рассмотрение моделей управляющих систем, трактуемых в виде сплошных непрерывных сред. На этой основе получили развитие работы в области так называемых континуальных моделей управляющих систем<sup>2</sup>.

С философской точки зрения существенно не упускать из виду, что в реальных системах управления мы всегда, фактически, имеем дело со сложными сочетаниями свойств дискретности и непрерывности. Так, в живых организмах кроме непрерывных нервных импульсов, передающих информацию, имеют место гуморальные химические связи непрерывного действия. В силу этого моделирование живых систем в кибернетике часто бывает связано с использованием обоих принципов действия. Например, повышение надежности, как показал Дж. Нейман, в ряде случаев осуществимо посредством сочетания элементов релейного типа с элементами непрерывного действия.

Мы видим, таким образом, что кибернетика дает новый материал для рассмотрения диалектического соотношения дискретного и непрерывного и оценки познавательной роли методов, основанных на дискретности и непрерывности.

---

<sup>1</sup> А. Н. Колмогоров, Автоматы и жизнь, «Возможное и невозможное в кибернетике», М., 1963, стр. 19.

<sup>2</sup> См., например, И. М. Гельфанд и М. Л. Цетлин, О континуальных моделях управляющих систем, «Доклады АН СССР», т. 131, № 6, 1960.

## 6. Кибернетика и принцип единства детерминистского и вероятностного подходов

Как пишет А. Н. Колмогоров, «переработка информации и процессы управления в живых организмах построены на сложном переплетении дискретных (цифровых) и непрерывных механизмов, с одной стороны, детерминированного и вероятностного принципов действия — с другой»<sup>1</sup>. Поэтому аналогично ситуации с дискретным и непрерывным принципами работы однозначно-детерминированный принцип в функционировании кибернетических устройств дополняется вероятностным принципом, приближающим идеализированные модели к оригиналу (например, к работе нервной системы и других органов живых систем), а также существенно расширяющим возможности кибернетических систем. Во многих ситуациях, изучаемых в кибернетике, мы имеем дело со случайными процессами — процессами, ход которых на различных его этапах определяется не однозначно, а с некоторыми вероятностями. В реальных системах и процессах регулярно действующие на них основные, существенные и точно учитываемые факторы осложняются влиянием множества (обычно менее существенных) факторов, действующих нерегулярно. Это, с одной стороны, обусловлено тем, что внешняя для данной системы среда представляет собой практически бесконечное множество взаимодействующих факторов, точно учесть которые невозможно. С другой стороны, любое достаточно сложное устройство управления в своей реальной полноте практически представляет собой систему, неисчерпаемую вглубь.

Наличие как однозначно-детерминированного, так и вероятностного принципа в работе систем, изучаемых в кибернетике, находит свое отражение в математических средствах кибернетики. В комплексе математических дисциплин и теорий, используемых в математических основаниях кибернетики (эти основания можно назвать математической кибернетикой), естественно выделяемы два несовпадающих (хотя и весьма тесно связанные друг с другом) подхода: *вероятностно-статистический* и *логико-алгоритмический*. Ярким выражением первого подхода является статистическая теория информации, восходящая к работе К. Шеннона «Математическая теория связи» (1948)<sup>2</sup>, в которой были введены важные понятия энтропии

<sup>1</sup> А. Н. Колмогоров, *Автоматы и жизнь*, «Возможное и невозможное в кибернетике», стр. 19.

<sup>2</sup> См. К. Шеннон, *Работы по теории информации и кибернетики*, М., 1963, стр. 243—332.



источника сообщения, пропускной способности канала связи и количества информации и указаны соотношения, характеризующие эти понятия. Вероятностно-статистические методы — в тесном взаимодействии с логико-алгоритмическими методами — получили затем применение в математической кибернетике для анализа систем управления, изучения их поведения с точки зрения некоторых критериев и т. п. Эти методы приобрели значение, в частности, в связи с разработкой так называемых самоорганизующихся систем, моделированием процесса «обучения» систем управления на цифровых машинах и разработкой методов нахождения оптимальных решений. Для решения возникавших здесь задач получили применение теория случайных процессов, метод статистических испытаний, теория игр, методы линейного и динамического программирования и др.

Вероятностно-статистические методы используются при получении и обработке информации, относящейся к измерениям параметров системы, при макро- и микроподходе<sup>1</sup>. Известно, что при макроподходе к изучению систем управления — например внутренней структуры и деятельности головного мозга — статистическая обработка данных на входе и на выходе систем позволяет с некоторой вероятностью предсказывать их внутреннюю структуру. Внешняя среда может рассматриваться как своеобразный вероятностный автомат, генерирующий случайные помехи<sup>2</sup>.

Существенно, что случайные процессы, используемые в вероятностных автоматах, могут иметь и особую эвристическую ценность для реализации сложных процессов — для «обучения» узнаванию, для моделирования процессов обобщения, для решения так называемых творческих задач (см. ниже), для обеспечения ультраустойчивости системы или повышения надежности ее работы<sup>3</sup>. С точки зрения методологической оценки вероятностного подхода безусловный интерес имеют работы по построению математических моделей различных «игр» с последующим программированием их для цифровых машин<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> О макро- и микроподходе см. А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский, Теоретические проблемы кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 9, 1963.

<sup>2</sup> Ср. Р. Буш и Ф. Мостеллер, Стохастические модели обучаемости, М., 1962; М. Л. Цетлин, О поведении конечных автоматов в случайных средах, «Автоматика и телемеханика» № 10, 1961.

<sup>3</sup> Значение вероятностного подхода с этих точек зрения одним из первых подчеркнул Дж. Нейман. См. Дж. Нейман, Вероятностная логика и синтез надежных организмов из ненадежных компонент, «Автоматы», М., 1956.

<sup>4</sup> См., например, Д. Блекуэлл и А. Гиршик, Теория игр и статистических решений, М., 1960; К. Э. Шеннон, Играющие машины, «Киберне-

Случайные для данной системы факторы могут играть не только второстепенную роль, представляя собой нюансы поведения или незначительные отклонения от условий работы, но и первостепенную, существенную роль, угрожая устойчивости, сохранению целостности всей системы или существенно меняя ее поведение. И разработка систем, способных целесообразно реагировать на второго рода случайные факторы (например, гомеостат У. Р. Эшби), а также использовать их в организации сложных форм поведения<sup>1</sup>, весьма плодотворна. Методологически это имеет свое основание в том, что случайность является не только формой проявления необходимости, но и ее дополнением<sup>2</sup>. Эта мысль Энгельса приобретает глубокий смысл в свете идей и результатов кибернетики, показывающих большую важность изучения стохастических (вероятностных) процессов и машин, в которых случайные процессы играют существенно важную роль.

## 7. Методологический аспект понятия информации в кибернетике

Разработка специфических для кибернетики методов, как было указано, связана с выяснением специфики процессов управления и переработки информации в отличие от остальных процессов и взаимодействий, протекающих в природе. Понятие сигнала (процесса сигнализации) объединяет два указанных процесса, представляющих по существу неразрывные стороны сигнализации в системе управления. Можно выделить управляющие сигналы, несущие «команды» управления (управляющую информацию) от управляющей системы к управляемой; сигналы, идущие от управляемой системы к управляющей, являются осведомительными, информирующими о результатах выполнения команд управления или о состояниях исполнительных органов. Второго рода сигналы несут информацию о результатах воздействий управляющей системы на управляемую, которая необходима для построения «модели» управляемого объекта, «модели» окружающей среды и выработки «модели» действия, представляющей собой программу осуществле-

---

тический сборник» № 1, 1960; М. Л. Цетлин, Ю. В. Крылов, Примеры игр автоматов, «Международный симпозиум по теории релейных устройств и конечных автоматов. Тезисы докладов», М., 1962.

<sup>1</sup> Одним из первых описаний таких форм поведения была статья У. Р. Эшби «Схема усилителя мыслительных способностей» («Автоматы»), в которой была выразительно показана роль случайного поиска.

<sup>2</sup> См. К. Маркс и Ф. Энгельс, Избранные письма, М., 1953, стр. 470.

ния актов поведения, приводящих к реализации определенной цели. Сигнал имеет определенную энергетическую характеристику (абсолютная величина мощности, технологические показатели использования данного вида энергии); но абсолютная величина энергии не существенна для сигнала как носителя информации. Для сигнала характерно не непосредственное энергетическое воздействие на управляемый объект, а так называемые управляющие воздействия на исполнительное устройство, которое за счет местных источников энергии усиливает эти воздействия, управляя значительно превосходящими величинами масс и энергий. Следовательно, к числу особенностей управления можно отнести свойство и механизм усиления (или ослабления) управляющего воздействия и то, что управление зависит от структуры управляющих воздействий.

Первая особенность управления связана с общими свойствами процессов превращения энергии из одной формы в другую. Ее можно иллюстрировать такими примерами, как превращение потенциальной энергии в кинетическую (например, сдвиг заслонки в паровом котле, освобождающий ее внутреннюю потенциальную энергию и превращающий последнюю в кинетическую энергию потока пара); изменение направления движущегося тела без (существенного) изменения его энергии (так как кинетическая энергия определяется скоростью и массой тела); управление движением тела путем обмена энергией между управляемым объектом и управляющей системой при общем балансе обмена энергией, равном или близком к нулю (например, перевод стрелки на рельсах железной дороги, действие руля); перераспределение энергии между частицами потока (например, в клистронных усилителях и генераторах). Более распространены случаи косвенного дискретного управления, использующего промежуточное звено — добавочную управляющую цепь или замкнутый контур управления, — например, управление с помощью различных реле, воздействие на управляемый процесс через курок, действующий на капсулу патрона, и т. д.

Вторая сторона управления связана с тем, что характер воздействия управляющей системы на управляемый объект зависит не от абсолютной величины мощности сигналов, а от «структуры», или формы, этих сигналов, от соотношений, заложенных в различных состояниях сигналов (обычно развертывающихся во времени). Реальности, значимости этих структурных соотношений и отвечает понятие об информации и о процессах ее преобразования. Преобразования формы сигналов, т. е. изменение способов существования и выражения информации — смена физического носителя сигналов, изменение

способов модуляции, кодирование и перекодирование — оставляют в принципе неизменной саму информацию (как содержание сообщения), воплощенную в состояниях сигналов различной физической природы.

Информация может быть заключена не только в состояниях сигналов, но и в статической форме — в конструкции системы сигнализации. Оба эти способа существования информации и позволяют придать процессу управления целесообразный характер, т. е. подчинить его цели, заложенной в своеобразной «модели», каковой является программа действий системы, реализация которой и есть превращение возможности (цели) в действительность.

Процессы передачи, хранения и переработки информации в создаваемых человеком технических системах вызвали к жизни разработку статистической теории информации, которая ставит и решает задачи повышения эффективности этих процессов. Эта теория возникла из потребностей техники связи на основе задач повышения пропускной способности и помехоустойчивости каналов передачи информации<sup>1</sup>. Необходимость количественной оценки различных по смыслу сообщений при решении задач, связанных с оптимальным кодированием и декодированием сообщений при передаче их по каналам связи, породила понятие о *количестве информации*. Это понятие, введенное К. Шенноном в упоминавшейся выше работе, открыло путь к систематическому изучению процессов хранения и передачи информации. Отвлечение от семантической стороны (смысла) информации, от ее прагматической стороны, от качественной разнородности и от существенности информации для получателя сохранило за (статистической, шенноновской) теорией информации лишь вопросы, связанные с формой выражения (формальной структурой), а не с содержанием и ценностью информации. Однако именно отвлечение от указанных сторон информации позволило найти ее количественную меру, характеризующую возможности передачи, хранения и преобразования информации. Было обнаружено, что отношение между степенью нашей неосведомленности (неопределенности знания) об объекте до и после получения данной информации может быть использовано для характеристики величины поступившей информации.

---

<sup>1</sup> Особые заслуги в этой области до возникновения кибернетики и оформления шенноновской теории информации принадлежат советскому ученому В. А. Котельникову, автору работы «О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи», «Материалы к I Всесоюзному съезду по вопросам технической реконструкции связи», М., 1933.

Из изложенного ясно, что понятие информации имеет ряд аспектов. Один из них — это структура, воплощенная в конфигурации, временной последовательности и т. п. состояний сигналов. Рассмотрение сигналов вместе с теми объектами, с которыми они соотносены, порождает понятие о *семантической стороне информации*. Когда же возникает вопрос об информации как основе определенных практических действий, то выступает еще один аспект информации — ее *прагматическая сторона*. В настоящее время в связи с шенноновской теорией информации математически разработан первый аспект. Вместе с тем ведутся исследования прагматического аспекта информации и ее семантического содержания; выяснение качественной стороны понятия информации, — конечно в условиях вполне конкретных постановок задач, — может способствовать расширению и развитию самой теории информации. Все эти направления исследований дают богатый материал для теории отражения, в частности для анализа содержания и формы отражения (отображения), для рассмотрения структуры познавательных процессов.

Идеи и результаты кибернетики, относящиеся к понятиям информации и сигнала, имеют также существенное значение для исследований природы психического отображения и анализа гносеологического понятия *образа*. Образ как содержание сложного по своей структуре сигнала (системы сигналов) реализуется в высокоорганизованных самоприспосабливающихся системах (животные, человек). Образ представляет собой результат соотнесения структуры нейродинамических состояний анализаторов с изоморфной (гомоморфной) ей структурой объекта, с которым непосредственно или опосредствованно взаимодействовал субъект. Иными словами, свойство «быть идеальным образом» есть функциональное, а не субстанциональное свойство<sup>1</sup>.

В свете всего сказанного выше становится понятным сформулированное Н. Винером положение о том, что информация, хотя и неразрывно связана с материей, не есть ни материя, ни энергия<sup>2</sup>.

Неразрывная связь информации и материи выражается, в частности, в структурном сходстве некоторых энергетических и информационных законов. Понятие энтропии в теории вероятностей имеет приложение как в области теории

---

<sup>1</sup> Подробнее об этом см. в работе В. С. Тюттина «О природе образа. Психическое отражение в свете идей кибернетики», М., 1963.

<sup>2</sup> См. Н. Винер, Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине, стр. 166.

связи, так и в области статистической термодинамики (как мера рассеяния энергии). Если, согласно термодинамической трактовке энтропии, последняя есть мера рассеяния энергии, мера хаоса, дезорганизации материи, то величину, ей обратную (так называемую негэнтропию), можно, очевидно, рассматривать как меру организованности, упорядоченности ее. Аналогия между негэнтропией и информацией состоит в том, что информация, неразрывно связанная с понятием управления, характеризует меру возможности упорядочения управляемой системы через управляющие воздействия на нее.

Является ли сходство формул термодинамической энтропии и информации случайным совпадением или здесь заключена глубокая связь? Этот вопрос оживленно обсуждается в литературе по философским вопросам кибернетики<sup>1</sup>. С диалектико-материалистической точки зрения эту общность энергетических и информационных свойств материи естественно рассматривать как одно из проявлений материального единства мира.

## 8. Понятие цели и кибернетика

Понятия и идеи кибернетики, группирующиеся вокруг понятий об управлении и информации, категория случайности, на которую результаты науки о сложных динамических системах проливают новый свет, понятие случайного поиска с последующим отбором состояний, понятия обратной связи и иерархичности систем управления — все это имеет важное значение для понимания механизма эволюции в живой природе. Кибернетический подход к живым существам, применение метода аналогий и метода моделирования, а также сравнительный анализ организмов, находящихся на различных ступенях развития, дает возможность более точно исследовать закономерности и механизмы развития в органическом мире. Представление о живых существах как об относительно устойчивых динамических системах управления и переработки информации, — основанное, конечно, на целой системе отвлечений и огрубляющих предположений, — открывает возможность математического описания механизмов приспособления к внешней среде и позволяет подойти к уточнению понятий *целесообразности* и *цели*. Подход кибернетики к этим понятиям находится в полном соответствии с идеями диалектического материализма, согласно которым всякая целесообразность должна быть объяс-

---

<sup>1</sup> См., например, *И. Б. Новик*, Негэнтропия и количество информации, «Вопросы философии» № 6, 1962,

нена как своеобразная система причинно-следственных отношений.

С точки зрения кибернетики наличие определенной задачи, определенной цели обязательно для всякого процесса управления; управление — это организация целенаправленного поведения. Эта цель может быть поставлена перед системой в самом начале управления, так сказать, извне. С этой ситуацией мы сталкиваемся, в частности, в случае создаваемых человеком технических систем управления. Но цель может вырабатываться и в самом процессе управления. Это характерно для систем управления, существующих в живой природе, хотя определенные простейшие аналоги выработки цели уже сейчас могут быть воспроизводимы с помощью кибернетических устройств, создаваемых человеком. В самом общем смысле цель управления можно описать как приспособление данной системы управления к имеющимся условиям среды (в общем случае меняющимся), требующееся для сохранения ее целостности, для ее нормального функционирования.

Таким образом, процессы управления и переработки информации можно рассматривать как упорядоченные в пространстве и времени процессы, подчиненные некоторой цели. В естественно возникших на нашей планете живых системах этой первичной, генетически исходной целью является функция сохранения целостности системы. Использование изоморфных отпечатков, изменений, полученных в результате воздействий внешней среды, в качестве особой приспособительной функции и вызвало появление простейших информационных процессов осведомительного и управляющего характера, подчиненных задаче сохранения существования системы. В неорганической природе активное использование отпечатков одного тела в результате его взаимодействия с другим не имеет места; есть лишь предпосылка — наличие самих отпечатков. В живой природе продукты воздействия внешних объектов используются организмами для сохранения их целостности, для самоорганизации, для накопления опыта и развития.

В соответствии со сказанным выше понятиям цели и степени ее достижения в кибернетике чуждо то понимание, которое характерно для религии и идеализма, связывавших целесообразность в природе с действием какого-то «верховного разума». Придав этим понятиям объективный характер, кибернетика нанесла тем самым резкий удар по идеалистической телеологии. Цель и связанные с нею понятия, применяющиеся в кибернетике безотносительно к природе систем управления, служат своего рода критерием оценки качества процесса управления, определяющим выбор соответствующих действий;

в конечном счете понятие цели включает в себя такое свойство, присущее системам управления живой природы, как сохранение устойчивости своей организации (гомеостазис), и тесно связано с понятием оптимизации процесса управления. По мнению А. Н. Колмогорова, «изучение в общей форме возникновения систем, в которых применимо понятие целесообразности, есть одна из главных задач кибернетики»<sup>1</sup>.

Исследование в рамках кибернетики общей структуры механизмов целенаправленного поведения систем ставит перед наукой, в том числе и перед философией, важную проблему изучения происхождения и ступеней развития свойства целесообразности, начиная от простейших приспособительных реакций живого вплоть до сознательного целеполагания и предвидения, свойственного человеку. Разработка этой проблемы открывает путь к более глубокому анализу важного вопроса о сходстве и различии между живой и неживой природой.

Конечно, — и это следует особо подчеркнуть — понятие цели (задачи) управления в кибернетике не следует отождествлять с сознательным целеполаганием, свойственным человеку. Вместе с тем следует иметь в виду, что для изучения сознательной целенаправленной деятельности людей выработанные в кибернетике представления об управлении и цели управления имеют значение, которое не следует сбрасывать со счетов.

## 9. Кибернетика и вопрос о возможностях моделирования биологических систем

Важнейшей сферой исследования, отвечающей специфике предмета кибернетики, является разработка вопросов моделирования биологических систем и различных сторон общественной жизни. При этом моделирование идет по двум основным направлениям.

Первое ставит задачей воспроизводить в моделях (с требуемым приближением) не только конечные результаты, продукты деятельности оригинала, но и сам процесс функционирования, те принципы и механизмы, которые выработались в ходе эволюции живых систем. Изучение этих принципов с точки зрения возможного применения их в инженерном деле при конструировании автоматических устройств составляет задачу недавно возникшей научной дисциплины — *бионики*.

---

<sup>1</sup> А. Н. Колмогоров, Автоматы и жизнь, «Возможное и невозможное в кибернетике», стр. 15—16.



Другое направление имеет своей главной целью моделирование конечных продуктов деятельности живых систем, абстрагируясь от их конкретной конструкции, от функциональных структур систем. Такой подход приводит к рассмотрению системы как «черного ящика», который может иметь множество вариантов своего внутреннего устройства. Такая многозначность внутреннего устройства (схемы, структуры) возможна потому, что различные схемы могут определять одну и ту же функцию. А это открывает возможность известной свободы в выборе схемы устройства, реализующего данную функцию. Конечно, если мы будем увеличивать число входов и выходов системы, будем разбивать систему на части — подсистемы — и стремиться к описанию функционирования всей системы через описание функционирования ее подсистем, то мы будем суживать диапазон возможных схем внутреннего устройства рассматриваемой системы. В пределе многозначность выбора приводится даже к однозначному решению.

В случаях, когда данная функция может быть реализована различными схемами, возникает возможность выбора и построения систем, которые, реализуя данную функцию, являются наиболее экономичными и эффективными по каким-либо показателям, т. е. оптимальными (в каком-либо смысле). В обоих из указанных направлений перед создателем модели стоит задача не только в определенных пунктах приблизиться к оригиналу, но и превзойти его по отдельным показателям (например, по быстродействию, объему памяти, точности работы и др.).

Для обоих направлений принципиальный методологический вопрос заключается в следующем: можно ли воспроизвести на моделях совокупность свойств, существенно специфических для оригинала? Вопрос этот перерастает в определение возможностей моделирования: каковы его перспективы? существуют ли для него какие-либо границы? если «да», то в чем они заключаются? если «нет», то в чем состоят трудности, тормозящие наше продвижение в данном направлении в настоящее время?

Существующие автоматические системы в технике хотя и работают без непосредственного участия человека, но косвенное его участие остается весьма существенным. Внешне оно выражается в обслуживании автомата, в устранении неисправностей и пр. Но главная особенность заключается в том, что все существующие автоматы лишены подлинной самостоятельности поведения. Их схема не «машина  $\rightleftharpoons$  среда», а «человек  $\rightleftharpoons$  машина  $\rightleftharpoons$  среда». Определяющий характер косвенного, потенциального участия человека состоит в том, что человек

подчиняет автомат своей воле, вкладывая в него цель деятельности путем конструкции и программы, содержащей общий критерий оценки, или выбора, целесообразных действий. Современная машина (программа, автоматическая система и т. п.) может варьировать общую стратегию поведения, вырабатывать новые алгоритмы решения задач, но не способна выйти за рамки извне вложенной цели или критерия, которые предопределяют в общем и целом ее поведение; она пока еще не может вырабатывать новые критерии оценки поведения. А это означает, что современные автоматические устройства лишены подлинной самостоятельности, т. е. того состояния активности, которое способно приводить систему к динамической устойчивости в широком диапазоне изменяющихся внешних условий.

Технические устройства типа гомеостата обладают так называемой ультрастабильностью, т. е. способны перестраивать связи между подсистемами (частями) системы, поддерживая существенные переменные данной системы в границах, обеспечивающих ее целостность<sup>1</sup>. Гомеостатические устройства в современной технике обладают способностью приходить в устойчивые состояния; однако выйти из этих состояний они не могут без новых воздействий извне. Этот факт можно истолковывать следующим образом: им не присуще активное состояние нужды, потребности в увеличении негэнтропии системы; они не способны к выработке новых критериев, принципов поведения, к совершенствованию своей организации, к продолжению рода; они не обладают, употребляя выражение Ф. Энгельса, «самостоятельной силой реагирования»<sup>2</sup>.

Системы, обладающие подлинной самоорганизацией в указанном смысле, нашли свое воплощение на Земле в разнообразных формах жизни. Поэтому расшифровка принципов самоорганизации тесно связана с познанием функциональной структуры элементарных форм жизни и их искусственного воспроизведения.

Выражением активности и существенной стороной самоорганизации животных и человека является состояние потребности — органической потребности и надстраивающейся над ней ориентировочно-поисковой. У человека появляются общественные потребности и интересы — эстетические, нравственные, познавательные. Состояние потребности является источником непрекращающихся поисков более эффективных способов овладения предметами и силами природы. Эмоциональные переживания и чувства, способность к творчеству

---

<sup>1</sup> См. У. Р. Эшби, Конструкция мозга, М., 1962, гл. 7 и 9.

<sup>2</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 20, стр. 610.

имеют в качестве своей субъективной основы, внутреннего источника соответствующие потребности. Отсюда ясно, что одной из актуальных общих задач биологии, физиологии, психологии, а также кибернетики является изучение состояния потребности (как органической, так и ориентировочной). Исследованиями процессов возбуждения и самовозбуждения в подкорке, в ретикулярной формации в настоящее время лишь сделаны по существу первые шаги в этом направлении. С кибернетической — чисто функциональной — точки зрения состояние нужды, потребности может рассматриваться как особое состояние неуравновешенности в системе, которое, являясь реакцией на недостающие для поддержания устойчивости системы факторы, периодически воспроизводится и является источником поисковых реакций, направленных на достижение устойчивости системы в ее взаимодействии со средой. Но свойства этого неустойчивого состояния пока еще не выявлены. Следует отметить глубоко диалектическую природу состояния потребности: оно не сводится к одной неустойчивости или устойчивости (динамической); это — противоречивое единство устойчивости и неустойчивости, самовоспроизводящаяся «борьба» противоположно направленных процессов.

Как известно, в истории философии активная сторона человеческой деятельности подчеркивалась, как правило, идеалистами, — однако в извращенном, искаженном виде (например, у Фихте, Гегеля). И К. Маркс в «Тезисах о Фейербахе»<sup>1</sup> ставил как важнейшую задачу раскрытие активной стороны человеческой деятельности на материалистической основе. Исследование проблем самоорганизации совместными усилиями биологов, физиологов, психологов и специалистов по кибернетике — существенное звено на пути решения задачи, поставленной К. Марксом.

## 10. Кибернетика и проблема моделирования мышления

Вопрос о повышении эффективности умственного труда и усилении творческой мощи человеческого интеллекта связан с возможностями передачи отдельных функций или сторон мыслительной деятельности вычислительным и информационно-логическим устройствам. В связи с этим — как и вообще в связи с изучением информационных процессов и процессов управления — большое значение приобретает анализ человеческого мышления. Для отыскания путей

---

<sup>1</sup> См. К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 3, стр. 1—4.

создания все более совершенных вычислительных, управляющих и информационно-логических машин естественно обратить внимание прежде всего на умственный труд человека, ибо человек способен решать самые сложные задачи управления, а его мозг является высокосовершенным и экономичным органом переработки информации. Это обстоятельство определило развитие методологических исследований в области моделирования мышления, взаимодействия человека и автомата, создания обучающихся систем управления и применения кибернетики к проблемам обучения людей. При этом эти исследования имеют отнюдь не только теоретический интерес: рассмотрение перспектив моделирования мыслительных процессов важно и с практической точки зрения, поскольку развитие техники и культуры в настоящее время настоятельно требует того, чтобы человек с помощью машин расширял возможности своей интеллектуальной деятельности.

Для успешного моделирования того или иного мыслительного процесса в виде алгоритма, для изыскания самой возможности формализации умственной деятельности существенно изучение ее закономерностей, выявление тех элементарных актов, из которых она состоит и на основе которых формируется. Важное значение имеет рассмотрение различных уровней моделирования мышления, в высших своих формах связанное с разработкой теории самоорганизующихся и обучающихся систем<sup>1</sup>.

Говоря о моделировании мышления средствами кибернетики и о значении изучения мышления для такого моделирования, важно подчеркнуть, что лишь исследование форм и приемов мышления объективными, точными методами позволяет рассчитывать на успех в этом направлении. Большие возможности в этом отношении открывают результаты, полученные современной формальной логикой, применяющей математические методы.

В настоящее время строго доказано, что те виды (стороны) умственного труда, которые на данном этапе развития науки поддаются формализации, могут быть машинизированы. Для осуществления же формализации важен анализ логической структуры мышления, его элементарных логических актов и выявление законов их синтеза. Для анализа достаточно сложных логических структур недостаточно описательных методов традиционной логики. Для плодотворного исследования этой проблемы приходится идти прежде всего по пути применения

---

<sup>1</sup> См. В. М. Глушков, Мышление и кибернетика, «Диалектика в науках о неживой природе», М., 1964.

и дальнейшей разработки методов математической логики и теории алгоритмов. Благодаря применению методов математической логики уже получены широкие обобщения в анализе форм и законов мышления, выяснены важные стороны его логической структуры, достигнута далеко идущая формализация процессов рассуждения и доказательства в науке, выработаны точные методы осуществления логического вывода в науке, имеющие алгоритмический характер. Не удивительно поэтому, что в связи с потребностями кибернетики возникает актуальная задача дальнейшего развития современной формальной логики, — в том числе алгебраических теорий логики, многозначных логик, теории алгоритмов, приложений логики к теории автоматов и т. д. Средства современной формальной логики — наряду с вероятностными, теоретико-информационными и иными методами кибернетики — используются при моделировании существенных сторон абстрактного мышления на вычислительных и информационно-логических машинах. Особый методологический интерес при этом имеет создание обучающихся автоматов и устройств, способных к распознаванию образов и к выработке аналогов абстрактных понятий, автоматов, осуществляющих логическое выведение следствий из посылок и доказательство теорем, а также автоматов, способных в результате «обследования» обстановки создавать «внутреннюю модель внешнего мира».

Конечно, ни математическая логика, ни иные применяемые в рамках кибернетики теоретические и технические средства исследования и моделирования мышления не могут претендовать на то, что они в состоянии охватить процессы мышления в полном их объеме. Методы кибернетики и математической логики оказываются плодотворными лишь при рассмотрении тех сторон мыслительных операций и рассуждений людей, которые на данной ступени развития науки могут быть формализованы. В настоящее время аппарат теоретической (математической) логики разработан применительно к мышлению, оперирующему сформировавшимися, готовыми понятиями, а процессы становления, формирования понятий (и знания в целом) остаются в своей основной части за бортом современной формальной логики, будучи неформализованными. Но с другой стороны, именно математическая логика и кибернетика делают таким актуальным философский, гносеологический вопрос о познавательном значении и пределах формализации в науке<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Более подробно о логических аспектах кибернетики см. *Б. В. Бирюков и А. Г. Спиркин*, Гуманитарные науки, логика и кибернетика (настоящее издание).

Кибернетические устройства современного типа позволяют моделировать ту сторону мышления человека, которая называется формальнологическим мышлением. Но формальнологическое мышление, конечно, не исчерпывает собой всего человеческого сознания, всей познавательной психической деятельности современного человека. Сравнивая наиболее продвинутые современные «самоорганизующиеся» системы, наиболее удачные программирующие программы и т. п. с человеческим мышлением, мы обнаруживаем гигантские преимущества и глубокие отличия мозга человека от упомянутых кибернетических систем: гибкость его работы, точность в решении задач, которая не связана с наличием какой-либо заранее сложившейся жесткой системы «формальных» предписаний, высокую надежность работы и т. п. Современные физиология и психология еще мало продвинулись в изучении работы мозга. Представляется, однако, убедительным, что при рассмотрении мышления не следует сбрасывать со счетов то, что называют творческой интуицией; надо помнить о роли догадки, смутных, нечетко выявленных — и тем не менее зачастую плодотворных! — идей; человек в состоянии осуществлять широкие аналогии, используя при этом огромные фонды научных данных, накопленных в ходе всего человеческого познания и отбираемых по нефиксированным жестко интуитивным критериям.

Разумеется, граница между формальнологической частью мышления и его интуитивно-содержательной стороной относительна и изменчива. История познания свидетельствует о том, что по мере развития средств науки и техники, навыков и приемов человеческого мышления она неуклонно отодвигается все дальше, предоставляя все большие возможности формализации. Важным достижением кибернетики является то, что она выдвинула в качестве важнейшей задачи изыскание все новых и новых средств формализации умственной деятельности человека, подчеркнув необходимость для этого изучать процессы мышления и моделировать их с помощью машин. Вряд ли, однако, приходится сомневаться в том, что граница между формализуемым в мышлении и тем, что — на каждом данном этапе познания, практики и развития мышления — находится вне возможностей формализации, будет, по-видимому, всегда<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Философские вопросы, относящиеся к формализации и связанным с ней понятиям, освещает в ряде своих работ С. А. Яновская. См. *С. Яновская*, Исчисление, «Философская энциклопедия», т. 2; *ее же*, Количество (в математике), там же; *ее же*, О философских вопросах математической логики, «Проблемы логики», М., 1963; *ее же*, Преодолены ли в современной науке трудности, известные под названием «апорий Зенона»? там же. Взглядам С. А. Яновской на познавательную роль формализа-

## 11. Кибернетика и проблема формализации творческих процессов

Наиболее яркое и наглядное различие между человеком и автоматом можно видеть в способности человека к творческой деятельности, созданию нового, а также в способности к эмоциональным переживаниям. В чем состоит способность к творчеству, какие элементы деятельности относятся к составным частям творческого процесса, какие задачи (или их элементы) могут быть отнесены к разряду творческих? Вопрос этот довольно труден, причем трудности здесь возникают уже при попытках придать самому вопросу достаточно точный характер.

С нашей точки зрения, для того чтобы пролить свет на этот вопрос, целесообразно обратиться к эволюции живого. С эволюционной точки зрения все свойства и функции, возникающие в ходе взаимодействия организма и среды, вырабатывались как более совершенные средства приспособления организмов к новым (и часто более сложным) условиям существования. Именно, в ходе взаимодействий с меняющейся средой живые существа часто оказываются в ситуации, когда обнаруживаются несоответствия между актуальными потребностями организма и наличными возможностями их удовлетворения. Если изменение поведения организма на основе прошлого опыта не компенсирует недостающих условий существования, то возникает так называемая *проблемная ситуация*, или ситуация вопроса (задачи). Она состоит в том, что ориентировочная потребность актуализирует, на основе прошлого опыта, цель (объект потребности) и критерий отбора (оценки) реакций организма. В проблемной ситуации у организма возникают ориентировочно-поисковые реакции, направленные на решение поведенческой (или теоретической — у человека) задачи, т. е. на нахождение недостающих звеньев на пути достижения цели. Все поведение животных и человека с этой точки зрения можно рассматривать как «решение задач», — начиная от простейших у животных и до сложнейших теоретических задач у человека.

Можно считать, что поведенческая (как и теоретическая) задача расчленяется на три основные части<sup>1</sup>: (1) постановка задачи, включающая появление (у человека также

---

ции следуют А. Л. Субботин в статье «Смысл и ценность формализации в логике», «Философские вопросы современной формальной логики», М., 1962, стр. 91—110, и Б. В. Вирюков (см., например, его статью «Математика и логика», «Диалектический материализм и вопросы естествознания», М., 1964).

<sup>1</sup> См. В. Тюттин, О природе образа, стр. 73—81.

и осознание) проблемной ситуации, когда выявляются цель и ранее выработанный критерий отбора (оценки) действий; (2) процесс решения задачи, состоящий из: а) применения готовых решений из запаса видового и индивидуально приобретенного прошлого опыта (у человека — это так называемые репродуктивные элементы мышления), б) нахождения необходимых для решения, но недостающих звеньев (в случае ограниченности прошлого опыта) посредством поисков трех видов: детерминированного поиска, случайного поиска и поиска смешанного типа, сочетающего два первых; (3) материальная «интерпретация» полученного решения, т. е. выход в план реальных действий и отношений вещей, практическое применение «моделей» решения для достижения цели, возникшей перед организмом в данной проблемной ситуации.

Какие из этих частей и в какой степени могут воспроизводиться на современных автоматических устройствах? Машины современного типа способны к реализации многого из того, что входит в процесс «решения задачи»: они могут менять программу своей работы и находить новые алгоритмы, позволяющие лучше решать задачи некоторого класса, переходить от одной системы формализации к другой и т. д. Однако цель действия при решении задачи и критерий выбора путей для ее достижения современным машинам «задает» в конечном счете человек — в форме общей конструкции машины или в виде общей программы-стратегии, которая может варьироваться машиной в зависимости от условий; человек также истолковывает решения, использует их в своей практической и теоретической деятельности для тех или иных целей. Процессы «решения задач» у живых существ определяются побудительными состояниями ориентировочного, органического и (у человека) социального порядка, отсутствующими у машин. С побудительными состояниями связана способность самостоятельно вырабатывать все более высокие критерии поиска и отбора, от которых зависит самообучение и творчество. А это и означает, что современные машины не обладают способностью к творчеству, так как постановка задачи (материальная и теоретическая), интерпретация решения и выработка новых общих критериев оценки результатов мышления неотделимы от творческой деятельности. Эмоциональные переживания у человека и животных также зависят от соответствующих потребностей биологического или социального порядка.

Конечно, не следует недооценивать возможности современных машин. В машинах (программах), способных к «открытию» нового, помимо детерминированного поиска используются различные виды случайного поиска на основе опреде-



ленного критерия отбора. Этот вид поиска могут осуществлять так называемые стохастические (вероятностные) машины с генератором случайных чисел и усилителем отбора<sup>1</sup>. Эвристическая роль элемента случайности хорошо обнаруживается в процессах обучения машин опознаванию объектов различных классов. Так, в перцептроне Ф. Розенблата типа «Марк I»<sup>2</sup>, в системе «Конфлекс I»<sup>3</sup>, опознающих зрительные изображения, в опытах по обучению машины опознаванию зрительных образов по алгоритму случайных плоскостей, основанному на гипотезе компактности<sup>4</sup>, в моделировании на универсальной цифровой машине обучения узнаванию зрительных образов<sup>5</sup> и т. д. — во всех этих случаях «решение задачи» связано с введением элемента случайности (случайный поиск или случайная выборка, статистический подход к обучению и т. д.). Представляет интерес дальнейшая разработка весьма общих алгоритмов обучения различению классов объектов, основанных на методе потенциальных функций<sup>6</sup>. Исследования алгоритмов обучения различению (классификации) классов объектов получают, по-видимому, в дальнейшем немаловажное прикладное значение (например, в геологии для распознавания нефтеносных пластов, в военном деле для службы обнаружения); они имеют также большую теоретическую значимость. Поскольку случайный поиск и другие используемые при распознавании образов подходы и методы имеют место

<sup>1</sup> См. У. Р. Эшби, Схема усилителя мыслительных способностей, «Автоматы», стр. 281—305.

<sup>2</sup> См. Дж. С. Хей, Ф. С. Мартин, С. В. Уитмен, Перцептрон «Марк I», его конструкция и характеристика, «Кибернетический сборник» № 4, 1962, стр. 198—244.

<sup>3</sup> «Самообучающаяся машина для ВВС», «Электроника» № 30, 1963, стр. 3.

<sup>4</sup> См. М. А. Айзерман, Опыты по обучению машин распознаванию зрительных образов, «Биологические аспекты кибернетики», стр. 174—183.

<sup>5</sup> См. М. М. Бонгард, Моделирование процесса обучения узнаванию на универсальной вычислительной машине, «Биологические аспекты кибернетики», стр. 184—191.

<sup>6</sup> См. М. А. Айзерман, Э. М. Браверман, Л. И. Розоноэр, Теоретические основы метода потенциальных функций в задаче об обучении автоматов разделению входных ситуаций на классы; О. А. Башкиров, Э. М. Браверман, И. Б. Мучник, Алгоритмы обучения машин распознаванию зрительных образов, основанные на использовании потенциальных функций, «Автоматика и телемеханика», т. 25, № 6, 5, 1964. Применение алгоритма основано на предположении о хорошей разложимости разделяющей функции непосредственно в пространстве рецепторов (это предположение эквивалентно гипотезе компактности) и зависит от статистики обучения. Доказаны теорема о конечном числе исправлений ошибок и теорема о сходимости алгоритма за конечное число шагов. При этом показано, что работа перцептрона является частным случаем реализации метода потенциальных функций.

и в познавательных психических процессах более высокого уровня, чем классификация зрительных и слуховых образов, разработка алгоритмов обучения разделению на классы может сыграть существенную роль в исследованиях мыслительных процессов. Не случайно поэтому эти работы оказываются связанными с разработкой теории формальных нейронных сетей, с задачей последовательного приближения этих сетей к картине функционирования и строения реальных нейронных структур мозга.

Расширение возможностей современных автоматов неотделимо от решения задач, относящихся к построению самообучающихся, самоорганизующихся устройств. Следует, однако, еще раз подчеркнуть, что в современных кибернетических концепциях понятия *(само)обучения*, *(само)организации* и т. п. имеют довольно условный смысл, поскольку предполагают взаимодействие машины и человека, без которого любые современные машины лишены самостоятельности. С помощью кибернетических устройств современного типа можно моделировать, воспроизводить определенные стороны психических функций животных и человека в той мере, в какой удастся отвлечься от побудительных состояний живых систем. Сложные автоматы современного типа могут выполнять действия, не предусмотренные конструктором, могут находить оптимальный (в каком-то смысле) закон поведения системы в результате поисков и обследования обстановки. Однако в машину необходимо заложить общий критерий, оценивающий результаты ее работы и направляющий ее. Современные системы управления представляют собой системы типа «человек — автомат», в которых решающая роль принадлежит человеку, автоматы же являются продолжением функций человека, усиливают и совершенствуют их.

Проблема технической реализации функций, специфичных для живых систем, перерастает в вопрос о возможностях создания автоматов высшего типа. Этот вопрос неразрывно связан с выяснением структуры и условий, характерных для самоорганизации, самоприспособления живых систем, с разработкой вопроса о критериях сложности систем и количественной оценкой этих критериев, с установлением связи между расширением возможностей автоматов и надежностью их действия и др.

Рассмотрение этих весьма важных с методологической точки зрения вопросов выходит, однако, за рамки настоящей статьи.

И. Б. НОВИК

## **К вопросу о единстве предмета и метода кибернетики**

Важной проблемой, которую необходимо решить на первых этапах философской работы в области кибернетики, является задача диалектико-материалистического истолкования фундаментальных результатов, полученных этой наукой. Вполне понятно, что этим не исчерпывается весь круг философской проблематики кибернетики; здесь весьма существенны и разработка методологических путей, перспектив развития кибернетики, и анализ ее воздействия на другие науки, в том числе на философию, и др. Однако нам представляется, что начинать философское исследование целесообразно именно с диалектико-материалистического осмысления уже сформировавшегося существа кибернетики как науки. Эта разработка показывает органическую связь объективного содержания кибернетики с мировой материалистической традицией в естествознании, вырывает всякую почву для навязывания методологии кибернетики всякого рода лжепроблем. В то же время при таком осмыслении мы получаем возможность проанализировать, как результаты кибернетики развивают в современных условиях материализм в естествознании. Философская работа, идущая в таком направлении, поможет преодолеть те методологические крайности, которые часто сопутствуют молодой науке.

Хотя материал кибернетики еще не получил полной систематизации, тем не менее существо предмета и методов этой науки сейчас в достаточной мере определилось. В этой связи нам представляется, что важное значение имеет философский анализ взаимосвязи предмета и методов кибернетики, раскрытие органического единства этих двух сторон кибернетики.

С этой точки зрения перед философским исследованием возникают две фундаментальные задачи. Во-первых, для диалектико-материалистического осмысления предмета кибер-

нетики исключительно важно проанализировать единство управления и информации в сложных динамических системах. Во-вторых, для диалектико-материалистического анализа методов кибернетики существенное значение имеет философское исследование особенностей кибернетического моделирования. Рассмотрение некоторых сторон этих проблем составляет содержание данной статьи.

## 1. О единстве управления и информации

Кибернетика — наука об управлении. В общей форме такая формулировка сейчас ни у кого не вызывает возражений. Однако существует ряд методологических проблем, которые в ходе философского анализа предмета и методов кибернетики приобретают немаловажное значение.

Прежде всего следует отметить два обстоятельства, связанных с подходом кибернетики к управлению. Во-первых, *управление* выступает в качестве предельно широкого понятия. В сущности любая научная дисциплина, вырабатывающая ту или иную технологию оперирования изучаемыми в ней объектами, имеет дело с некоторой формой управления. Следовательно, для философского анализа предмета и методов кибернетики важно рассмотреть специфику управления, с которым имеет дело эта наука. Выяснение этой специфики может идти по двум линиям — по линии анализа своеобразия управления как предмета изучения кибернетики и по линии выяснения особенностей методов, способов подхода к управлению, которые в ней используются.

Остановимся сначала на анализе управления как предмета кибернетики.

Прежде всего следует подчеркнуть, что кибернетика в соответствии с представлением, которое развивает академик А. И. Берг<sup>1</sup>, занимается изучением процессов управления в сложных динамических системах. На философском анализе этого фундаментального обстоятельства мы в дальнейшем специально остановимся.

Рассмотрим еще одну весьма существенную особенность управления как предмета кибернетики. Дело в том, что когда мы определяем кибернетику как науку об управлении, мы

---

<sup>1</sup> См. «Кибернетику — на службу коммунизму», т. I, М. — Л., 1961, стр. 29.

рассматриваем ее, по крайней мере в определенных пределах, как науку о некоторой деятельности, поскольку управление — это род деятельности. Такой подход к предмету науки правомерен. Однако сам по себе он недостаточен. На наш взгляд, при выяснении предмета науки указание на определенный, связанный с этой наукой род деятельности следует дополнить указанием на некоторый изучаемый этой наукой род материальных процессов и объектов, их свойств и отношений. Ведь, например, при определении математики мы не ограничиваемся определением ее как науки о вычислении, как некоторой деятельности, а сопоставляем ее предмет с реальными свойствами и отношениями действительности.

Нам представляется, что и для философского рассмотрения предмета кибернетики существенно указание на некоторую объективную сторону действительности, учет которой позволит полнее раскрыть своеобразие кибернетического подхода к управлению.

Важнейшим результатом кибернетики является установление связи между управлением и информационными процессами<sup>1</sup>. С точки зрения кибернетики процесс управления есть прежде всего процесс циркуляции информации между управляемым и управляющим объектами. Специфика кибернетического подхода к управлению заключается именно в установлении решающей роли информационных отношений в управляющем воздействии.

Отношение управления по своей форме связано с взаимодействием двух систем (двухмерный вектор), заключенных в едином контуре. По содержанию различные отношения управления можно разграничивать в зависимости от природы управляющих воздействий.

В кибернетике наряду с «вещественными» управляющими воздействиями (механическими, химическими и т. п.) учитываются информационные воздействия. Разработка методов количественного расчета информационных воздействий резко продвинула вперед изучение процессов управления, подобно тому как раскрытие количественных методов исследования энергии продвинуло вперед познание и практическое использование физических процессов.

Подчеркивая единство процессов управления и информационных процессов, А. А. Харкевич отмечает, что «в любой системе измерения, управления или регулирования мы имеем

---

<sup>1</sup> Это обстоятельство подчеркивается в статье Б. С. Украинцева «Информация и отражение», «Вопросы философии» № 2, 1963.

дело с особой сущностью, получившей наименование информации»<sup>1</sup>.

Естественно возникает вопрос о том, какова природа этой сущности. Для ответа на него целесообразно не ограничиваться количественными методами измерения информации, не замыкаться лишь в функциональном подходе к информационным процессам. Для этой цели оправдан прежде всего качественный, содержательный подход к информации. Этот взгляд находится в соответствии с точкой зрения академика А. Н. Колмогорова, согласно которой «теория информации находится еще в начальной стадии своего развития. Весьма вероятно, что при дальнейшем ее развитии увлечение, господствующее сейчас, сводить все вопросы к подсчету количества информации сменится поисками путей более полной математической характеристики различных видов информации, не игнорируя полностью их качественного своеобразия»<sup>2</sup>.

При раскрытии качественной природы информации необходимо рассматривать ее как объективную, не зависящую от произвола субъекта. В противном случае и управлению, и кибернетике как науке об управлении мы придали бы методологический неверный, субъективистский характер.

Для осуществления содержательного подхода к информационным процессам их целесообразно, как это показано в нашей литературе<sup>3</sup>, связать со свойством отражения, присущим всей материи и сходным с ощущением, но не тождественным ему, о чем говорил В. И. Ленин<sup>4</sup>. В этой ленинской идее кибернетика получает глубокое методологическое обоснование; в свою очередь философское положение об общематериальном атрибуте отражения получает в кибернетике свое естественно-научное подтверждение и развитие.

В пользу такого подхода свидетельствует ряд обстоятельств. Среди них следует, во-первых, выделить установившийся в кибернетике взгляд на информацию, согласно которому информация — это не материя и не энергия<sup>5</sup>. Информация при из-

---

<sup>1</sup> А. А. Харкевич, Вопросы теории информации в автоматике. «Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства», т. 2, М., 1957, стр. 132.

<sup>2</sup> А. Н. Колмогоров, О передаче информации. «Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства», т. I, М., 1957, стр. 98. (Разрядка моя. — И. Н.)

<sup>3</sup> См., например, Б. С. Украинцев, О возможности кибернетики в свете свойства отражения материи, «Философские вопросы кибернетики», стр. 117—119.

<sup>4</sup> См. В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 18, стр. 91.

<sup>5</sup> См. Н. Винер, Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине, стр. 166.

лагаемом здесь подходе по содержанию непосредственно связывается не с материей и не с энергией, а с отражением как атрибутом материи.

Во-вторых, в пользу предлагаемого подхода говорят особенности самого аппарата современной теории информации, в котором математическая формула для определения количества информации совпадает с формулой, выражающей величину негэнтропии в физике, и в-третьих, некоторые тенденции в развитии теории информации, связанные с попытками ее содержательной физической трактовки<sup>1</sup>.

На наш взгляд, эти тенденции говорят о том, что в будущем наряду с математическим анализом информации все большее значение будет приобретать исследование физических процессов, происходящих при кодировании, передаче, преобразовании и восприятии информации.

О правомерности предлагаемого подхода свидетельствуют, в-четвертых, общеметодологические соображения, вытекающие из рассмотрения опыта развития научного познания, который свидетельствует о том, что чисто количественный, формально-функциональный подход к объектам с развитием науки, как правило, дополнялся содержательным, субстанциональным подходом.

Такой подход дает, на наш взгляд, вполне правомерную исходную методологическую основу для обоснования пути развития и конкретизации качественных определений информации, выходящих за рамки ее функционального математического определения (по А. Н. Колмогорову) в качестве некоторого оператора, переводящего функцию из одного состояния в другое.

Будущие конкретизированные качественные определения информации (в рамках которых, например, будут предприниматься попытки подробнее раскрыть характер связи отображения с информацией), на наш взгляд, не вступят в противоречие с этим общим подходом.

В плане такого содержательного подхода, связывающего информацию с отражением, выступает еще один, на наш взгляд, пожалуй, важнейший, аргумент в пользу идеи единства управления и информации. Этот аргумент вытекает из анализа природы антиэнтропийных процессов. Антиэнтропийная природа процессов управления, на наш взгляд, не может вызывать сомнений. Управляющее воздействие имеет своей целью снизить или по крайней мере затормозить рост энтропии

---

<sup>1</sup> См., например, Л. Бриллюэн, *Наука и теория информации*, М., 1960.

(меры хаотичности) данной системы. Стало быть, для того чтобы осуществить управление (т. е., в данном контексте, снижение энтропии), необходимо найти и использовать некоторую объективную антиэнтропийную силу, ибо человек покоряет природу не по своему субъективистскому произволу, но только на основе овладения объективными законами самой природы.

Характеризуя взаимоотношения человека и природы, Ф. Энгельс писал, что «на каждом шагу факты напоминают нам о том, что мы отнюдь не властвуем над природой так, как завоеватель властвует над чужим народом, не властвуем над ней так, как кто-либо находящийся вне природы, — что мы, наоборот, нашей плотью, кровью и мозгом принадлежим ей и находимся внутри ее, что все наше господство над ней состоит в том, что мы, в отличие от всех других существ, умеем познавать ее законы и правильно их применять»<sup>1</sup>. Эта азбучная для материализма истина полностью, конечно, справедлива и в отношении кибернетики как науки, вскрывающей в понятии управления за его антропоморфной субъективной формой объективное начало и указывающей область тех объективных закономерностей, на которых основаны процессы управления. Этой областью объективных закономерностей, носящих антиэнтропийный характер, и являются законы восприятия, передачи, преобразования и хранения информации.

В связи с характеристикой объективной природы информации нам представляется необходимым отметить ошибочность, в философском плане, представления о нематериальности информации.

Нам представляется справедливым соображение, что неверно называть информацию нематериальным объектом<sup>2</sup>. Дело заключается в том, что альтернатива — материальное или нематериальное — справедлива лишь при рассмотрении, да и то только в гносеологическом плане, соотношения материи и отражающего ее сознания. Мы же связываем информацию с общематериальным атрибутом отражения. Что касается атрибутов материи — движения, пространства, времени, отражения, то они, не будучи материей (было бы, конечно, неверной крайностью отождествлять материю и ее атрибуты), тем не менее неразрывно с материей связаны, и было бы неправильным называть их нематериальными, ибо это могло бы породить сомнение в их объективности.

---

<sup>1</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 20, стр. 496.

<sup>2</sup> См. об этом в статье Б. С. Украинцева «Информация и отражение», «Вопросы философии» № 2, 1963, стр. 29.



Стало быть, методологически не оправданы при анализе взаимоотношения материи и ее атрибутов обе крайности, как тезис «атрибуты материальны» (этот вывод в сущности отбрасывает своеобразие атрибутов как неотъемлемых свойств субстанции и делает понятия атрибутов попросту излишними), так и тезис «атрибуты нематериальны» (что ставит под сомнение их объективность).

При таком подходе естественно возникает вопрос: как же быть с нематериальностью (в гносеологическом плане) сознания, ведь сознание — это ступень в развитии общематериального атрибута отражения? Нам представляется, что досубъективное, дочеловеческое отражение — отражение без самосознания — неверно называть нематериальным (идеальным). Идеальным в гносеологическом плане отражение становится лишь на уровне субъекта, человека с его способностью к самоосознанию. Дочеловеческие информационно-отражательные процессы и в онтологическом, и в гносеологическом плане неточно называть нематериальными, ибо в противном случае мы можем смазать как объективную природу информационных процессов, так и специфику отражения на уровне самосознающего субъекта.

В сущности с фундаментальным фактом объективности информации наука столкнулась, — правда, не осознавая этого, — еще в XIX в., в связи с так называемым демоном Максвелла.

Знаменитый английский физик Д. К. Максвелл приводил следующее парадоксальное с точки зрения статистической физики рассуждение. Предположим, что сосуд с газом разделен стенкой с дверцей, которой управляет маленькое существо («демон»), способное различать быстрые и медленные молекулы газа. Тогда, управляя дверцей, «демон» смог бы собрать в одной части сосуда все быстрые молекулы, а в другой — все медленные. Но, как известно, рост энтропии проявляется в усреднении распределения молекул по скоростям. «Демон» же, создавая неравномерность в распределении молекул по скоростям, снижает энтропию системы и по существу осуществляет вечный двигатель второго рода.

Путь теоретического разрешения этого парадокса был намечен лишь в 1929 г. в работе Л. Сцилларда «Об уменьшении энтропии в термодинамической системе при вмешательстве мыслящего существа»<sup>1</sup>. В этой работе подчеркивался тот

---

<sup>1</sup> L. Szilard, Über die Entropieverminderung in einem thermodynamischen System bei Eingriffen intelligenter Wesen, «Zeitschrift für Physik», Bd. 53, 1929, S. 840.

казалось бы лежащий на поверхности явлений факт, что для управления дверцей с целью разделения молекул по скоростям «демон» должен был бы обладать информацией о состоянии молекул. Но для этого необходим подвод энергии извне системы; например, «демон» должен был бы иметь фонарик с набором батареек, чтобы освещать молекулы; о вечном двигателе второго рода в данном случае, таким образом, не может быть речи.

Мы видим, что затраты энергии на получение информации, не учитывавшиеся физикой XIX в., приобрели в науке XX в. принципиальное значение. Информация создает антиэнтропийный эффект управления, конечно, не «из ничего», а лишь за счет того — пока еще последовательно не истолкованного — факта, что антиэнтропийный эффект информации намного превосходит энергетические затраты на ее получение. Во всяком случае антиэнтропийность информационных процессов и является той объективной физической основой, которая определяет единство управления и информации.

Резюмируя философскую интерпретацию кибернетики как науки об управлении, мы можем сделать ряд выводов.

Прежде всего кибернетика раскрыла единство управления и информационных процессов. Благодаря этому процедура управления приобрела содержательную основу, которую можно изучать объективными методами. Возникновение кибернетики позволило научному познанию проникнуть в мир информационных процессов, которые ранее не включались в поле научного исследования как несущественные по сравнению с энергетическими процессами, и поставить информацию на службу задачам управления. Кибернетика, далее, не только установила сам факт связи управления и информации, но и выработала точные количественные методы учета и использования на практике этой связи. При этом решающее значение имело усовершенствование математического аппарата кибернетики. Здесь необходимо отметить разработку статистического подхода к управлению.

Решающее значение в усовершенствовании математического аппарата кибернетики имеет развитие неклассического вариационного исчисления, изложенное в работе (удостоенной Ленинской премии в 1962 г.) Л. С. Понтрягина, В. Г. Болтянского, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко<sup>1</sup>. Задачи оптимизации связаны с исследованием экстремумов. В математическом

---

<sup>1</sup> См. Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко, Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961.

анализе изучаются максимумы и минимумы функций. Классическое вариационное исчисление выступало как теория экстремумов функционалов. Задача классического вариационного исчисления, разработанного в XVIII в., состояла в том, чтобы из всего класса допустимых функций отыскать такую функцию, которая бы давала минимум функционалу, т. е. некоторому числу, зависящему от выбора функций. В ряде существеннейших в практическом отношении задач управления, выдвинутых современными условиями развития техники, классическое вариационное исчисление оказывалось недействительным. Дело в том, что в классическом вариационном исчислении рассматривался только лишь случай незамкнутости области управления, т. е. учитывались все значения управляющего параметра, кроме конечных. В силу этого классическое вариационное исчисление было не способно описать те исключительно важные для техники случаи, когда оптимальное управление достигается при крайнем положении рулей управления.

Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко справедливо отмечают, что если в случаях, когда оптимальные значения лежат на границе области управления, «мы ограничимся рассмотрением открытого множества, отбросив граничные точки множества управления  $U$ , то классические теоремы дадут такой ответ: оптимальных управлений не существует. Это, конечно, может служить указанием на то, что управляющий параметр должен принимать значения на границе множества  $U$ , но такого соображения отнюдь не достаточно для решения задачи, ибо нужно знать, каким образом должен изменяться управляющий параметр на границе области  $U$ »<sup>1</sup>.

Разработанный авторами принцип максимума содержит информацию, достаточную для ответа на вопрос, каким именно образом изменяется управляющий параметр на границе области управления. Рассматривая соотношение принципа максимума и классического вариационного исчисления, авторы подчеркивают, что последнее оказывается предельным частным случаем принципа максимума, в силу чего в случае открытого множества управления из принципа максимума получаются все основные необходимые условия, известные в классическом вариационном исчислении<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко, Математическая теория оптимальных процессов, стр. 265.

<sup>2</sup> См. там же, стр. 264.

Классическая математика экстремальных процессов, стало быть, оказывалась весьма несовершенной при решении задач кибернетического управления; поэтому она была обобщена в математике оптимальных процессов.

Все эти обстоятельства позволили кибернетике распространить приемы управления на динамические системы высшего порядка, которые, по выражению У. Эшби, при применении традиционных, докибернетических методов побивали нас своей сложностью<sup>1</sup>.

Итак, кибернетика включила в сферу действия научно обоснованного и точно рассчитанного управления новый тип материальных объектов — сложные динамические системы, способные к саморегулированию. Подробный анализ сложных динамических систем выходит за рамки нашей статьи. Мы лишь подчеркиваем одну из наиболее важных в методологическом отношении особенностей.

Сложные динамические системы выступают прежде всего как системы, изменяющиеся со временем (динамические) и состоящие из многих элементов (сложные). Но существо их специфики состоит в том, что эти системы обладают такой большой степенью внутренней слитности своих элементов, что к ним оказывается неприменимым метод, основанный на принципе «разделяйте факторы по-одному». Сложность таких систем определяется, таким образом, не столько числом элементов, из которых они состоят, сколько богатством связи между этими элементами и между системой в целом и средой.

В результате этого освоенный наукой путь прямого раскрытия сущности систем, состоящий в том, чтобы сначала разобрать систему на элементы, вскрыть ее вещественную специфику, ее внутренние причинные связи (анализ), а затем собрать систему из элементов и осмыслить ее функционирование в целом (синтез), оказывался практически нереализуемым.

Это фундаментальное обстоятельство потребовало от кибернетики не только усовершенствования математических приемов, но и радикального обобщения в этой науке самого содержания ряда традиционных методов исследования. Здесь мы видим важное подтверждение философской идеи единства онтологического и логического. Специфика объекта кибернетики — сложных динамических систем — находит свое выражение в своеобразии одного из важных методов подхода данной науки к этим объектам — метода кибернетического моделирования.

---

<sup>1</sup> См. У. Р. Эшби, Введение в кибернетику, М., 1958, стр. 20.

## 2. Об особенностях кибернетического моделирования

Метод моделирования своими корнями восходит еще к Ньютону, заложившему основы представлений о подобии. Однако особенно широкое значение этот метод приобрел именно в современном естествознании, в котором он подвергся существенному обобщению и модификации. В силу этого моделирование следует считать одним из наиболее специфических для современного естествознания приемов познания и практического действия. Возрастание удельного веса метода моделирования в системе познавательных приемов представляет собой, на наш взгляд, одну из наиболее существенных тенденций современного научного познания.

Моделирование представляет собой важную и исключительно широкую форму опосредования, при которой с данным объектом теоретически или практически оперируют через посредство особого промежуточного звена — модели. Модели, в которых первоначально преобладал элемент наглядной образности, опирающейся на некоторую аналогию между моделируемым объектом и моделью<sup>1</sup>, в дальнейшем обобщались в том плане, что в них приобретал все большее значение элемент абстрактности. В современной науке все большую роль играют абстрактные логико-математические и знаковые модели, в которых некоторые черты моделируемого объекта выражаются в абстрактных формулах.

Для целей нашей работы можно дать следующее обобщенное определение модели. Модель — это естественно возникший или специально созданный человеком чувственно-вещественный или абстрактно-логический объект, находящийся в некотором объективном соответствии с познаваемым объектом, способный замещать этот последний на некоторых этапах познания и характеризующийся тем, что, оперируя с ним, мы получаем информацию о самом познаваемом объекте и путях управления им.

Как мы видим, в модели — независимо от ее чувственно-вещественного или абстрактного характера — наиболее существенны две черты: во-первых, способность находиться в некотором объективном, по определенным правилам интерпретируемом соответствии с познаваемым объектом и, во-вторых, способность на некоторых этапах познания и практической деятельности замещать познаваемый объект.

---

<sup>1</sup> Например, у Резерфорда проводилась наглядная аналогия между атомом и планетарной системой, поскольку и в том и другом случае имеется центральное ядро и периферия.

Кибернетика в процессе своего возникновения опиралась на тенденции и особенности современного научного познания, связанные с возрастающей ролью опосредования. Сформировавшись, кибернетика усилила эти тенденции. Методологический анализ кибернетики показывает, что центральное место в ее методе, в ее способе подхода к объектам занимает такая важная форма опосредования, как моделирование. Однако в кибернетике не просто используются старые, уже разработанные приемы моделирования; кибернетическое моделирование приобрело столь фундаментальные особенности, что речь должна идти о существенном обобщении этого метода, появлении в нем новых, существенных особенностей.

В плане этого общего тезиса следует подчеркнуть ряд немаловажных, на наш взгляд, обстоятельств.

В кибернетическом моделировании упор делается не на раскрытие вещественного субстрата моделируемого объекта, а на характеристику структуры его отношений. Поэтому основой такого моделирования служит *изоморфизм* отношений, имеющих в модели и в моделируемом объекте. В общем случае кибернетическая модель может быть по своей структуре *изоморфна* не моделируемому объекту в целом, а лишь некоторой его части, и тогда, как отмечено У. Эшби, речь должна идти о *гомоморфизме* — частичном *изоморфизме* модели моделируемому объекту. Акцент в кибернетическом моделировании на объективные отношения, которые могут рассматриваться как относительно самостоятельные, как не зависящие, в рамках принятых упрощений и абстракций, от вещественного субстрата, показывает полную неосновательность точки зрения, согласно которой, например, кибернетическая модель мозга принципиально не может быть адекватной последнему в каком-либо отношении на том основании, что она состоит из неорганических элементов. В таком подходе не учитывается, что структура отношений элементов в электронных моделях может в известных случаях повторять структуру нейронов определенных участков мозга<sup>1</sup>.

Абстрагирование от вещественного субстрата при анализе объективных отношений имело место и до кибернетики. Однако кибернетическое моделирование не только расширило сферу применения этого познавательного приема, но и вызвало его дальнейшее обобщение. В кибернетическом моделировании абстрагируются уже не только от вещественного субстрата моде-

---

<sup>1</sup> Это и было показано фон Бонином уже вскоре после исходной работы Маккаллока и В. Питтса по моделированию нервной активности. См. *Н. Винер, Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине*, стр. 38.

лируемого объекта, но и от внутренних причинных отношений последнего. Это очень существенное развитие метода моделирования значительно расширило возможности его применения.

В кибернетическом моделировании обычной является ситуация, когда в ходе построения абстрактной модели некоторого явления мы не увеличиваем нашего знания о его внутреннем причинном механизме, но тем не менее получаем достаточно надежные «технологические карты» управления этим явлением. Это обстоятельство как раз и связано с тем, что в такого рода кибернетическом моделировании описание явления происходит не в терминах причинного истолкования, а в терминах управления. Сама кибернетическая модель реального явления в этом случае выступает в качестве двухмерного вектора, одна составляющая которого связана с меняющимися параметрами входа, а вторая — с параметрами выхода системы. В основу управляющего воздействия при этом кладется значение функциональной зависимости выхода от входа. Используя новейший математический аппарат, кибернетика добивается оптимизации этой зависимости.

Характерной чертой кибернетического моделирования является его функциональность. Эта черта, пожалуй, наиболее интересна в методологическом отношении.

Функциональный метод был известен задолго до кибернетики. Однако в кибернетике этот метод был существенно обобщен и усовершенствован.

Во-первых, в кибернетике функциональный подход носит не только качественный характер, а сочетается с точными количественными методами оптимизации. Во-вторых, кибернетика обобщила функциональный подход, предполагающий отвлечение не только от вещественного субстрата объектов, но и от их внутренних причинных связей (на том этапе исследования, когда они еще нам не известны), применила его к новым объектам познания — сложным динамическим системам. В-третьих, кибернетика подчинила функциональный подход задачам оптимизации управления, благодаря чему он перестал выступать в качестве некоторого антипода и конкурента причинного объяснения, а стал орудием описания системы в терминах управления. В силу всего этого традиционная феноменологическая модель «черного ящика» трансформировалась в абстрактно-функциональную модель управления. Освоение на основе кибернетики новых материальных объектов — сложных динамических систем — и новой сферы объективной реальности — информационных процессов, считавшихся ранее, при господстве энергетического подхода, несущественными, привело к фундаментальному обогащению воззрений на мир и

пути его познания и преобразования. Это изменение наших воззрений нашло свое выражение в выработке в науке нового кибернетического функционально-информационного языка, описывающего процессы управления. Появление такого языка — явление абсолютно закономерное в развитии познания. Как справедливо подчеркивал Ф. Энгельс в предисловии к первому тому «Капитала», «в науке каждая новая точка зрения влечет за собой революцию в ее технических терминах»<sup>1</sup>.

Вполне понятно, что попытки, к сожалению до сих пор встречающиеся, методологически опорочить кибернетический подход и присущий ему особый строй понятий совершенно чужды творческому духу диалектического материализма. Прежде всего необходимо отметить неправомерность попыток отождествления функционального подхода кибернетики и махистской трактовки функциональных связей. Для махизма характерно субъективистское истолкование функциональных связей, при котором они понимаются как форма систематизации потока ощущений познающего субъекта, и утверждение принципиальной непознаваемости тех внутренних причинных зависимостей, которые лежат в их основе. В противоположность этому кибернетический подход в рациональной, диалектико-материалистической трактовке предполагает признание объективности, независимости от сознания субъекта внешних функциональных связей на поверхности явлений и основан на убеждении, что внутренние причинные механизмы, которые сегодня нам еще не известны и от которых мы в известных пределах отвлекаемся, существуют объективно и будут познаны по мере дальнейшего развития науки.

Функциональный подход не только методологически правомерен, но и необходим в определенные моменты познания, особенно тогда, когда предметом изучения являются процессы, внутренний причинный механизм которых нам еще пока не известен или чрезвычайно сложен. Но и в том случае, когда у нас имеется качественное знание о внутренних причинных механизмах системы, кибернетический подход приносит свою пользу, поскольку качественное знание необходимо дополнить точными количественными методами оптимизации, поскольку и при наличии причинного описания объекта задача управления им не утрачивает своего относительно самостоятельного характера.

Диалектическая оценка кибернетическо-функционального метода, отстаивая его методологическую правомерность и плодотворность, в то же время подчеркивает

---

<sup>1</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 23, стр. 31.



его относительность. Относительность эта заключается прежде всего в том, что он не дает возможности раскрыть все стороны объективной истины, а лишь является моментом на пути ее открытия и доказательства. Попытки представить методы кибернетическо-функционального моделирования как некоторое отклонение от материализма несостоятельны методологически и вредны практически. Вполне понятно при этом, что следует иметь в виду относительность кибернетического моделирования и недопустимость его абсолютизации.

Дело в том, что кибернетическое моделирование — это хотя и весьма плодотворный и бурно прогрессирующий, но тем не менее специальный метод в общем арсенале научных методов и приемов. Поэтому кибернетический подход необходимо рассматривать в единстве с традиционными методами субстратно-причинного анализа, а не как их альтернативу. Кроме того, кибернетическое моделирование ограничено и как некоторый специальный прием исследования.

Одна из существенных черт этой ограниченности связана, так сказать, со «скаляризацией» информации в современной теории информации. Дело в том, что в кибернетике сопоставляемые явления как бы проектируются на одну плоскость, их многообразие в известной мере элиминируется; в результате вместо многомерных векторов мы получаем скаляр. А. Н. Колмогоров обратил внимание на эту ограниченность, когда в своем докладе «Теория передачи информации» говорил, что в действительности информация не скалярная величина, поэтому му аксиоматический путь здесь ограничен<sup>1</sup>.

В связи с характерным для кибернетики применением одномерного (скалярного) масштаба к многокачественному (многомерному) миру можно, на наш взгляд, говорить об особой «проектной» процедуре; под последней имеется в виду, так сказать, скаляризация мира в кибернетике, проектирующей все многообразие качественно различных явлений на одну плоскость. Не ставя в какой-либо мере под сомнение плодотворность такого абстрактного подхода в кибернетике, необходимо иметь в виду его ограниченность.

Кибернетический подход, распространяясь в различных науках, не вытесняет субстратно-причинных методов исследования; более того, без поддержки этих методов он сам в значительной мере теряет свою продуктивность. Для дальнейшего развития научного познания все более фундаментальное значение приобретает объединение, взаимообогащение киберне-

---

<sup>1</sup> См. «Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства», т. 1, стр. 76.

тического подхода и сложившихся ранее в различных науках субстратно-причинных методов познания. В свете сказанного понятна полная методологическая несостоятельность отрицания возможности использования кибернетического подхода в тех или иных специальных науках.

Конечно, когда речь идет о применении кибернетического подхода в некоторой специальной сфере, например в исследовании явлений жизни, требуется не простое перенесение кибернетических функциональных приемов в эту сферу, а их существенное развитие, обобщение и конкретизация.

Распространенность кибернетическо-функционального подхода в современном познании позволяет говорить о тенденции кибернетизации науки. С этой тенденцией связано обобщение самого понятия научного описания. Это обобщение осуществляется таким образом, что задача теоретического объяснения явно подчиняется задаче управления, а грань между науками теоретическими и прикладными становится все менее и менее жесткой.

\* \* \*

Усовершенствование способов кибернетического моделирования явлений, внутренняя природа которых нам еще не ясна, характеризует возросшую активность человеческого сознания, раскрывающего пути опосредованного управления объектом.

В настоящее время можно выделить два типа кибернетических моделей, применение которых приобретает все более широкий характер.

Первый тип — вещественные модели, представляющие собой некоторые реально действующие агрегаты и осуществляющие некоторую функцию, присущую моделируемому объекту. К этому типу моделирования относятся, например, кибернетическое протезирование в медицине (аппарат «сердце-легкие» и т. п.) и вещественно-экспериментальные модели, раскрывающие некоторые стороны познаваемого объекта в исследовательских целях. Такова серия «кибернетических игрушек» (например, черепаха Г. Уолтера).

Второй тип — абстрактные кибернетические модели управления, дающие математическое выражение функциональных зависимостей, характеризующих сложную динамическую систему.

Эти типы моделей получают все более широкое применение в различных научных дисциплинах. В этом, в частности, проявляется тот процесс кибернетизации знания, о котором говорилось выше. Саму эту кибернетизацию можно рассматривать как следующий за математизацией этап формализации знания.

В процессе проникновения в различные науки идей и средств кибернетики на современном этапе получает яркое выражение объективная тенденция усиления взаимосвязи и взаимодействия наук. Плодотворность этого процесса неотразимо доказана практикой.

В заключение выделим некоторые существенные черты, которые приобрело моделирование — познавательный прием, издавна использовавшийся в человеческом познании, — вместе с развитием кибернетики.

Прежде всего в кибернетике прием моделирования по сравнению с докибернетическими этапами развития моделирования получил существенное обобщение. Это проявилось, в частности, в том, что в кибернетическом моделировании наряду с моделями-имитациями широкое распространение получили модели управления, выступающие в форме двухмерного вектора, функционально характеризующего состояния входа и выхода моделируемой системы.

Далее, в кибернетике в качестве модели может выступать не только чувственный предмет, но и некоторое абстрактно-логическое построение. Это обстоятельство связано с многосмысленностью в кибернетике самого термина *машина*. Машиной в кибернетике называют не только материально реализованные вычислительные, информационные, управляющие и иные устройства, но и логико-математические «машины» типа, например, машины А. Тьюринга. Роль абстрактно-логических моделей процессов, которые изучаются в кибернетике, будет в дальнейшем по мере развития теоретических основ кибернетики неуклонно возрастать.

В силу сказанного неверно, как иногда считают, полагать, что если мы построим достаточно «хорошую» кибернетическую модель, например, деятельности мозга, то эта модель будет и функционировать тождественно мозгу<sup>1</sup>.

С особенностями кибернетического моделирования связаны существенные черты кибернетического подхода в целом. Этот подход характеризуется такими чертами, как применение операционально-функционального метода, аксиоматическая процедура в отношении сложных динамических систем, разграничение микро- и макроанализа, гомеостатический подход. Эти черты накладывают известные ограничения на возможности кибернетики как науки; они должны быть с возможной полнотой учтены при решении проблемы соотношения человека и

---

<sup>1</sup> На этом важном вопросе останавливается подробнее академик В. М. Глушков в статье «Гносеологическая природа информационного моделирования», «Вопросы философии» № 10, 1963.

машины. Например, столь фундаментальное для кибернетики понятие гомеостатического уравнивания системы со средой может быть применимо к человеческой деятельности с большими ограничениями, так как законом человеческих действий является не уравнивание со средой, а активное изменение природы, подчинение ее целям человека.

\* \* \*

Раскрытие единства процессов управления и информационных процессов, содержательный подход к природе информации, рассматривающий последнюю как упорядоченное отражение, а также анализ особенностей кибернетического моделирования — все это приводит к ряду важных с методологической точки зрения выводов. Рассматриваемый подход к понятиям управления, информации и кибернетического моделирования является плодотворным для рассмотрения проблемы соотношения человека и машины. Прежде всего открывается возможность установления содержательной основы реальной общности между человеком и электронной машиной, а также установления объективных критериев сопоставления деятельности мозга и работы кибернетической машины.

Между работой кибернетической машины и деятельностью мозга имеется известная общность, корнящаяся в том, что как машине, так и мозгу присуще свойство отражения. Машина и мозг выражают различные стадии в развитии свойства отражения. Каково отношение между этими стадиями? Могут ли эти стадии на какой-то ступени развития человеческой культуры совпасть?

Однако, прежде чем перейти к анализу этих вопросов, сделаем несколько предварительных замечаний.

Проблема соотношения человека и кибернетической машины будет по мере развития познавательного процесса конкретизироваться, приобретая благодаря этому все большую теоретическую и практическую значимость. Это объясняется не только важностью данной проблемы для практики построения усовершенствованных кибернетических систем, но также ее большим мировоззренческим значением. Проблема соотношения человека и кибернетической машины связана с основным вопросом философии. Установленный кибернетикой факт известной общности деятельности мозга и работы кибернетических машин подтверждает и развивает диалектико-материалистическое решение этого вопроса. Не случайно с первых шагов развития кибернетики различные школы современного идеализма выступили против нее. Так, в одной из первых фило-

софских работ по кибернетике, «Человек и мыслящая машина», немецкий идеалист Э. Васмут предлагал выступить против кибернетики, поскольку она доводит материализм до последней черты<sup>1</sup>.

При рассмотрении проблемы соотношения человека и кибернетической машины существенно отделить ее философский аспект от других (например, связанных с путями создания автоматов нового типа) ее аспектов, правильно определить задачи методологического исследования этой важнейшей проблемы, выдвинутой развитием кибернетики. Философское исследование проблемы *человек и машина* не должно (в духе П. Косса) умозрительно формулировать принципиально недоступные машине априорные черты сознания<sup>2</sup>. Такой подход, не обоснованный достаточным знанием законов сознания и опирающийся лишь на привычные представления здравого смысла, способен только тормозить процесс естественнонаучного познания этой проблемы. На самом деле перед серьезным философским исследованием проблемы соотношения возможностей человека и автомата прежде всего возникают следующие две задачи: а) постараться четко сформулировать условия сопоставления человека и кибернетической машины и б) показать те возможные лжедилеммы, в которые может впасть познавательный процесс, пытаясь решить рассматриваемую проблему.

Одной из таких лжедилемм можно считать представление, согласно которому необходимо или признать тождественность деятельности мозга и работы кибернетической машины, или в конце концов прийти к точке зрения солипсизма. В действительности для отрицания солипсистской точки зрения нет необходимости признавать наличие мыслящих систем, отличных от человека и его мозга; для этого достаточно признания существования других людей, кроме своего мыслящего *Я*.

Необходимо, далее, отметить, что анализу рассматриваемой проблемы существенно вредит то обстоятельство, что она стала весьма модной. В многочисленных статьях в литературных и научно-популярных журналах, в научно-фантастической литературе предлагается большое многообразие ее решений — от оптимистического лозунга «автоматы все могут!» до примитивного тезиса «автоматы без человека не способны ни к чему». Журналистски-сенсационный подход к проблеме *человек и*

---

<sup>1</sup> E. Wasmuth, *Der Mensch und die Denkmachine*, Köln — Olten, 1955, S. 11.

<sup>2</sup> См. П. Косса, *Кибернетика*, М., 1958.

машина проникает подчас в философские дискуссии, что, конечно, повышает их эмоциональный накал, но зато снижает теоретический уровень.

В общей системе философских проблем кибернетики вопросу о соотношении человека и машины принадлежит, несомненно, важное место. Однако было бы неверно этот вопрос (на деле далеко не самый актуальный в философской проблематике кибернетики) абсолютизировать, было бы ошибкой сводить к нему всю философскую проблематику в области молодой науки об управлении сложными динамическими системами. Необходимо также заметить, что проявляющееся иногда стремление безотлагательно и на все времена — даже при недостатке экспериментальных и теоретических данных — решить эту проблему не приносит пользы делу. Поспешно принятые решения по этому сложному вопросу, приобретая форму догм, могут принести существенный вред развитию методологической работы в области кибернетики. Так, на наш взгляд, нельзя согласиться с У. Р. Эшби, который в докладе «Что такое разумная машина?» на конференции по интеллектуальным машинам, состоявшейся в Калифорнии в 1961 г., говорил: «Можно надеяться, что в ближайшие десять лет утвердятся идеи, которые на многие годы вперед определяют развитие науки о «мозгоподобных» механизмах»<sup>1</sup>. В определенных ситуациях в развитии науки даже скромная по своему содержанию методологическая выдержка может оказаться продуктивнее радикально-окончательных решений.

Действительно, ведь проводимые в настоящее время рядом исследовательских коллективов эксперименты по «саморазмножению» и «смене поколений» кибернетических систем еще далеко не завершены. С другой стороны, в современной теории информации не обнаружен объективный закон информационной деятельности, который мог бы служить аналогом второго начала термодинамики. А ведь опыт развития науки показывает, что заклинания на словесном уровне не смогли окончательно прекратить попыток построения *perpetuum mobile* второго рода до тех пор, пока не было установлено второе начало термодинамики.

На наш взгляд, необходимо отметить, что, хотя обе крайности — и та, которая связана с преувеличением возможностей машин, и та, которая состоит в их недооценке, — теоретически не обоснованы, с практической точки зрения опаснее вторая

---

<sup>1</sup> У. Р. Эшби, Что такое разумная машина?, «Зарубежная радиоэлектроника» № 3, 1962, стр. 67.

крайность. Это связано с «запретительной природой» общеприцательных суждений. Когда мы говорим: «Этого не может быть никогда», мы обязаны указать объективный закон природы (типа второго начала термодинамики), на который опирается наш запрет. В противном случае общеприцательное суждение приобретает произвольный, необоснованный характер, и в случае, когда его превращают в безусловную истину, становится тормозом развития науки. Позитивное суждение с этой точки зрения обладает тем несомненным преимуществом, что побуждает к движению вперед, не оговаривая — из-за недостатка научных данных — границ этого движения, но подразумевая, что эти границы, если таковые существуют, будут установлены в ходе дальнейшего развития науки и техники.

В силу сказанного нам представляется, что философский анализ проблемы соотношения человека и машины не должен сводиться к умозрительному поиску у человека таких свойств, которые принципиально не могут быть присущи машине. Философский анализ становится конструктивным, когда он исходит из позитивной установки, из установки на выяснение тех свойств, какими должна обладать машина, чтобы быть признанной «мыслящей». Такой методологический подход может помочь естествознанию, которое посредством экспериментально-теоретического исследования должно решить вопрос о возможности воспроизведения этих свойств на машинах. На наш взгляд, в современном анализе проблемы соотношения человека и машины не так важны окончательные решения, как обсуждение аргументов в пользу того или иного подхода к этой проблеме и рассмотрение их методологических следствий.

Нам представляется методологически удачной постановка этого вопроса президентом Международной ассоциации по кибернетике бельгийским ученым Ж. Р. Буланже, который на конгрессе по кибернетике в 1960 г. в дискуссии по докладу сотрудников Манчестерского университета об «Экспериментах с обучающейся и мыслящей машиной» подчеркнул, что утверждение, что машинам не доступна интеллектуальная деятельность, «приводит к дискредитации усилий исследователей, которые выбрали в качестве рабочей гипотезы априорную неограниченность возможностей машины». «Мне могут возразить, — продолжал Ж. Р. Буланже, — что в обоих случаях речь идет о гипотезах и что ни для одной из них нельзя привести доказательств. Это так, и все же разница есть: принятие первого утверждения (позиция отрицания) исключает некоторые возможности, в то время как сторонники второго ка ж д ы й д е н ь

представляют нам новые доводы в пользу своей основной гипотезы»<sup>1</sup>.

Мы видим, что, хотя обе крайности в решении вопроса о соотношении человека и машины не аргументированы, наиболее опасна та крайность, которая догматически устанавливает предел развитию кибернетических машин, закрывая тем самым путь к анализу новых доводов и подменяя диалектический подход метафизической игрой в «игнорабимус». Действительно, уже в течение последних 10 лет кибернетические машины не раз переходили те пределы, которые перед ними воздвигал «здравый смысл».

Задача методологии в применении к проблеме соотношения человека и машины прежде всего заключается в философском анализе аргументации, выдвигаемой в поддержку того или иного ее решения. При этом в силу незавершенности исследований, связанных с этой проблемой, на современном этапе развития науки не так важны «конечные» решения, как сам процесс выработки и анализа относящихся к ней результатов и новых аргументов.

После этих предварительных замечаний перейдем к рассмотрению двух распространенных в литературе и имеющих определенное обоснование точек зрения по интересующему нас вопросу. Первая из них может быть названа алгоритмической точкой зрения при решении вопроса о соотношении человека и машины. Эта точка зрения наиболее полно выражена английским ученым А. Тьюрингом<sup>2</sup>.

Если разобрать аргументы, с помощью которых Тьюринг стремится доказать тезис о близком подобии машины и мозга, то можно заметить, что в качестве главного основания для такого взгляда выдвигается закономерный характер как действий человека, так и работы машины.

А. Тьюринг связывал определение машины с таким рассуждением: следует считать, что машина мыслит, если, задавая ей вопросы и получая ее ответы через непрозрачную перегородку, мы достаточно долго не сможем определить, кто находится за перегородкой — человек или машина<sup>3</sup>.

Тьюринг критикует девять известных ему возражений против его точки зрения. В их числе он приводит такие заведомо несостоятельные возражения, как так называемое теологическое, признающее «божественность» мышления, как «страу-

---

<sup>1</sup> «Кибернетический сборник» № 4, 1962, стр. 197. (Разрядка моя. — И. Н.)

<sup>2</sup> См. А. Тьюринг, *Может ли машина мыслить?*, М., 1960.

<sup>3</sup> См. там же, стр. 19—20.



сова» точка зрения или как апелляции к сверхчувственному и непознаваемому характеру сознания<sup>1</sup>. Наиболее существенный пункт всей конструкции А. Тьюринга связан с рассмотрением восьмого возражения, опирающегося на тезис о неформальности, т. е. неалгоритмизуемости, поведения человека<sup>2</sup>. Его суть Тьюринг передает следующим образом: «Если бы каждый человек обладал определенной совокупностью правил действия, следуя которым он живет, он был бы не чем иным, как машиной. Однако таких правил не существует. Следовательно, человек не может быть машиной»<sup>3</sup>.

Основной аргумент, который приводит А. Тьюринг для опровержения этой точки зрения, состоит в предложении перейти от рассмотрения правил действия к естественным законам поведения. При этом А. Тьюринг формулирует такой тезис: мы убеждены «не только в том, что быть управляемым законами поведения — значит быть некоторым родом машин... но что и, наоборот, быть такой машиной означает быть управляемым законами поведения».

Автор предисловия к русскому переводу статьи А. Тьюринга С. А. Яновская<sup>4</sup> приводит существенные возражения против такой постановки вопроса. Эти возражения можно свести к трем пунктам. Во-первых, неточно отрывать правила поведения от объективных законов. Во-вторых, у Тьюринга машина трактуется чрезмерно расширительно, как вообще всякий объект, поведение которого определяется объективными законами. В-третьих, сквозящее в рассуждениях Тьюринга представление о существовании списка естественных законов, определяющих поведение человека, метафизично, ибо не учитывает того, что в действительности и практика и познание человека развиваются.

Эти возражения представляются весьма важными. К ним следует, на наш взгляд, добавить еще одно возражение. А. Тьюринг, конечно, прав, отстаивая материалистический тезис, согласно которому и работа машин, и поведение человека закономерны. Однако при этом постановка вопроса Тьюрингом сталкивается с существенной трудностью, которую он, по-видимому, упускает из вида. Ведь из того факта, что работа машин и поведение человека определяются объективными (Тьюринг говорит: естественными) законами, вовсе еще не следует, что эти законы не могут оказаться качественно

---

<sup>1</sup> См. А. Тьюринг, *Может ли машина мыслить?*, стр. 32—49.

<sup>2</sup> См. там же, стр. 46—47.

<sup>3</sup> См. там же.

<sup>4</sup> См. там же, стр. 9.

различными для машины и человека. Во всяком случае эту возможность следует обсудить.

Тьюринг, очевидно, не допускает возможности качественной специфичности законов поведения человека. Поскольку Тьюринг принимает без обсуждения идентичность законов, определяющих работу машины и поведение человека, его рассуждения приобретают налет тавтологичности. Действительно, получается, что машина может мыслить потому, что законы ее поведения однокачественны с законами поведения человека; с другой стороны, законы, определяющие работу машины, однокачественны с законами поведения человека, потому что машина может мыслить. При таком сближении человека и машины вопрос: «может ли машина мыслить?» — превращается в вопрос: «как может машина не мыслить?»

Одним из методологических изъянов рассуждений Тьюринга является увлечение количественным подходом при сравнении мозга и машины. Тьюринг полагает, что через 50 лет станет возможным запрограммировать работу машины с емкостью памяти около  $10^9$  таким образом, чтобы при игре в имитацию через 5 минут после начала игры для «среднего» человека шансы определить, что перед ним машина, были бы не выше 70%.

Однако сведение различия мозга и машины к чисто количественному различию числа их элементов вряд ли может быть признано основательным. Как уже справедливо отмечалось в литературе, при таком подходе ускользает различие между человеком, решившим задачу, и просто зазубрившим ответ. При этом вся проблема из плоскости поисков решения переводится в плоскость запоминания уже найденных решений. Однако очевидно, что наиболее интересной для характеристики мышления является способность находить решение и ставить проблемы. Конечно, такая, так сказать, операционная постановка вопроса, принимающая в расчет лишь функциональную и количественную сторону при сравнении мозга и машины, содержит в себе рациональное содержание. Но ее нельзя абсолютизировать.

Итак, можно сформулировать следующие основные возражения против точки зрения А. Тьюринга. Подход, который предлагает Тьюринг, сводит различия между мозгом и машиной преимущественно лишь к количественной стороне. При этом не учитывается качественная специфика законов человеческого поведения. Его подходу свойствен некоторый налет тавтологизма, связанный с тем, что решение рассматриваемого вопроса (машина мыслит) уже в известной мере содержится в самой постановке этого вопроса, поскольку она исходит из

понятия о машине как вообще об объекте, поведение которого носит закономерный характер. Наконец, следует отметить недостаточность принимаемого Тьюрингом чисто функционального критерия мышления для исследования разнообразных аспектов проблемы соотношения человека и машины.

Тьюринг признает, что существо трудностей машинного воспроизведения мышления связано не с инженерными задачами, которые, конечно, сами по себе исключительно трудны. «Проблема, — говорит он, — заключается главным образом в программировании»<sup>1</sup>. Эта проблема состоит в том, что, по выражению Н. Винера, в каком-то энном этапе программирования машина неизбежно окажется не в состоянии конкурировать с человеком<sup>2</sup>. Тьюринг предполагает, что эта трудность может быть преодолена, если учесть способность кибернетических машин к обучению и самообучению. В этом случае мы можем подойти к решению задачи следующим образом: сначала построим так называемую машину-ребенка, а потом вступим на путь ее обучения.

Но Тьюринг недооценивает качественного отличия ребенка от машины. Во-первых, ребенок — это не *tabula rasa*, не пустой приемник внешней информации; он наследует гигантский запас генетической информации. Во-вторых, в силу того что у ребенка прижизненная информация, полученная на основе обучения, влетает в наследственную, процесс обучения ребенка качественно отличается от процесса накопления запаса информации в машине<sup>3</sup>. Признание способности машин к самообучению не снимает их качественного отличия от человека.

Вторая точка зрения в решении вопроса о соотношении человека и машины в силу тезиса о том, что сознание в конечном счете должно стать присущим машинам благодаря способности последних к самовоспроизведению и усложнению, приводит к отождествлению машины и человека. Основой такого подхода является обоснованный Дж. Нейманом вывод о возможности самовоспроизведения машин при достижении ими

---

<sup>1</sup> А. Тьюринг, *Может ли машина мыслить?*, стр. 51.

<sup>2</sup> См. «Норберт Винер в редакции нашего журнала», «Вопросы философии» № 9, 1960, стр. 168.

<sup>3</sup> В историческом плане идея «машины-ребенка» Тьюринга весьма сходна с идеей Кондильяка о статуе, которая постепенно наделяется чувствами. Только в отличие от статуи Кондильяка «машина-ребенок» А. Тьюринга наделяется мыслями.

Рациональные материалистические моменты в этих идеях несомненны. Однако здесь мы имеем дело лишь с моделями-аналогиями, абсолютизировать сходство которых с моделируемым объектом, конечно, нет оснований.

известной степени сложности. Математическая формулировка и доказательство ряда теорем, относящихся к самовоспроизведению автоматов, были даны в работах А. Н. Колмогорова.

Эти идеи и результаты весьма интересны с теоретической точки зрения. Что касается возможного круга их практического применения, то здесь, естественно, еще много неясного. Однако теоретический вывод, согласно которому, самовоспроизводясь, кибернетические устройства обязательно придут к обладанию сознанием, представляется нам недостаточно аргументированным по ряду соображений.

Во-первых, только опытное исследование механизма самовоспроизведения автоматов может показать, насколько близок этот процесс к размножению живых организмов.

Во-вторых, даже если сходство процесса самовоспроизведения кибернетических устройств и органической эволюции будет подтверждено экспериментально, отсюда не будет еще следовать, что в процессе «эволюции» у автоматов появляется сознание: сходство процессов не обязательно ведет к тождеству их результатов. К возникновению сознания приводит лишь та ветвь биологической эволюции, которая подводит к общественной жизни.

Наконец, в-третьих, — и это, пожалуй, самое существенное обстоятельство — процесс самовоспроизведения машин и эволюция органической материи, приводящая к сознанию, принципиально отличаются в самых своих истоках тем, что импульсом развития машин является сознательный творческий акт (человека), а эволюция органической материи начинается без какого бы то ни было участия сознательного начала. С этой точки зрения следует отметить сугубую условность часто проводимой аналогии<sup>1</sup> между решением экспериментатора о том, какая из исследуемых им машин лучше других (в некотором отношении), и процессом естественного отбора.

\* \* \*

Мы рассмотрели две точки зрения на проблему соотношения возможностей машины и человека. Ни одна из них, на наш взгляд, не подкреплена достаточной аргументацией для решения вопроса в свою пользу.

Не предпреляя конкретных путей развития кибернетических систем, сформулируем теперь общие условия, учет которых существен при анализе соотношения человека и машины.

---

<sup>1</sup> См., например, А. Тьюринг, *Может ли машина мыслить?*, стр. 52.

Мы говорили выше, что при анализе соотношения человека и машины неправилен путь конструирования умозрительных принципиальных черт различия человека и кибернетической машины. Правомерно лишь говорить о тех уже сегодня известных особенностях деятельности мозга, которые пока не присущи работе машин. В. В. Солодовников справедливо подчеркнул, что вряд ли целесообразно рассматривать вопрос о том, «как далеко можно идти в этом направлении (в проведении аналогий между автоматом и человеческим организмом. — *И. Н.*) и устанавливать здесь какие-либо твердые границы, хотя бы потому, что сам человеческий организм еще недостаточно хорошо изучен»<sup>1</sup>.

Поскольку кибернетические системы развиваются преимущественно на основе моделирования функций человеческого сознания, постольку для прогресса кибернетики огромное значение будут иметь успехи нейрофизиологии и психологии, так как высшее есть ключ к пониманию низшего. Что же касается технической стороны развития кибернетических систем, то здесь очень важно иметь в виду обстоятельство, отмеченное в выступлении Н. Г. Бруевича на Теоретической конференции по философским проблемам кибернетики, состоявшейся 1—2 июня 1962 г. в Москве. Это обстоятельство заключается в том, что прогресс кибернетической техники не будет, по-видимому, носить плавного характера: он будет нуждаться в принципиально новых идеях (а не просто в наращивании числа элементов в системах управления) и будет отмечен резкими скачками и поворотами. «Сумасшедшие идеи», о которых говорил Н. Бор применительно к современной физике, необходимы и для развития кибернетической техники.

Далее. Поскольку человеческое сознание есть не просто функция жизни, а связано лишь с той ее ветвью, которая приводит к возникновению общества, постольку тайна нейрофизиологической специфики человеческого мозга заключена в особенностях социального процесса. В силу этого для сопоставления человека и кибернетической машины необходим учет общественной природы человека. Дальнейший известный прогресс в сопоставлении человека и машины будет связан с возможностью выражения определенных сторон социальной природы человека формализованным языком.

---

<sup>1</sup> В. В. Солодовников, Некоторые принципы построения и вопросы теории самопоставляющихся систем автоматического управления, «Сессия АН СССР по научным проблемам автоматизации производства», т. 2, стр. 143.

Для анализа соотношения человека и машины необходим также учет того, что машины (в общем и целом это будет верно и для самовоспроизводящихся машин) создаются людьми, являются производными от деятельности человека; перводвигателем, первоотлчком в «царстве машин» (даже если они и приобретут в будущем способность относительно самостоятельного развития) является сознательное существо — человек. Предысторией же эволюции человека служат бессознательные природные процессы. Этот фундаментальный факт помогает нам понять принципиальный вывод, согласно которому машина может стать «умнее» каждого отдельного человека в той или иной конкретной деятельности, но она не станет «умнее», т. е. производительнее в умственном труде, всего человечества в целом<sup>1</sup>.

И последнее. Для анализа рассматриваемой проблемы фундаментальное значение имеет учет того, в какой степени на решении проблемы *человек и машина* сказываются те упрощающие предположения, которые принимаются в кибернетике. В этой связи нам представляется, что особое внимание должно быть уделено так называемой проективной операции, связанной с кибернетической «скаляризацией» многообразия реальных связей и отношений тех объектов, которые вводятся в рассмотрение в ее теориях при приложениях кибернетики к тем или иным областям действительности.

В этом плане нам представляется существенным отметить, что предлагаемая в литературе замена бесконечности весьма большими, но конечными величинами<sup>2</sup> нуждается в специальном обосновании. Сущность вопроса состоит не в том, что число нейронов в мозгу превосходит число элементов в кибернетической машине. Принципиальная возможность в процессе миниатюризации электронных элементов построения машин с числом элементов, равным числу нейронов в мозгу (или даже превосходящим его), может считаться доказанной. Однако важно учитывать, что те системы, с которыми имеет дело в настоящий период кибернетика, конечны не только по числу элементов, но — и это, на наш взгляд, главное — также и по числу связей со средой. В этом плане показательны так называемые *L*-автоматы, о которых Г. Г. Мартенс пишет, что «взаимодействие между автоматом и его окружением ограничено, если существует конечная верхняя грань для длин тех

---

<sup>1</sup> Подробнее об этом говорится в статье В. М. Глушкова «Мышление и кибернетика», «Вопросы философии» № 1, 1963.

<sup>2</sup> См. А. Н. Колмогоров, Автоматы и жизнь (изложение доклада), «Техника молодежи» № 10, 11, 1961.

входных и выходных последовательностей, которые могут появиться»<sup>1</sup>. Г. Г. Мартенс делает вывод, что «задача построения автоматов с ограниченным взаимодействием разрешима»<sup>2</sup>. Однако человек в отличие от этого принципиально в потенции может вступать в бесконечное число связей с бесконечной средой. При этом важно иметь в виду, что факт актуальной конечности числа возможностей данного конкретного среза практической деятельности человека не устраивает, на наш взгляд, проблемы потенциальной бесконечности его возможностей.

Для человека нет ничего принципиально чуждого в мире, потому что он сам является аналогом мира. Он является тем микрокосмосом, который заключает в себе осознание бесконечного макрокосмоса. Этого нельзя упускать из виду.

Учет всех этих обстоятельств может усилить аргументированность и конструктивность исследований по проблеме соотношения человека и кибернетической машины.

\* \* \*

Мы видим, что кибернетика возникла и развивается в общем фарватере прогресса научного познания. Она связана узами преемственности с достижениями всех естественных наук и опирается на мировую материалистическую традицию естествознания. В то же время кибернетика исключительно полно и глубоко выразила основные тенденции именно современного познания. В философском плане значение кибернетики в истории человеческого познания наиболее ярко выражается в трех основных аспектах.

1. Кибернетика расширила сферу научного познания, распространила его на область информационных процессов и процессов управления.

2. Кибернетика углубила наши представления о движении, ознаменовала этап более точного и более действенного его познания.

Характеризуя переломный этап в математическом описании движения в книге «Диалектика природы», Ф. Энгельс писал: «Поворотным пунктом в математике была Декартова *переменная величина*. Благодаря этому в математику вошли *движение* и тем самым *диалектика* и благодаря этому же стало *немедленно необходимым дифференциальное и интегральное исчисление*, которое тотчас и возникает и которое было

---

<sup>1</sup> «Кибернетический сборник» № 3, 1961, стр. 230.

<sup>2</sup> Там же.

в общем и целом завершено, а не изобретено, Ньютоном и Лейбницем»<sup>1</sup>.

Нам представляется, что в современной математической теории оптимизации выражается следующий кардинальный этап в описании движения.

С неклассическим вариационным исчислением, вызванным к жизни потребностями кибернетики, в науку вошло точное количественное знание движения по оптимальным путям, а не только знание экстремальных точек. Этот переход от характеристики экстремальных точек к раскрытию всего оптимального пути радикально расширил возможности управления объективными процессами движения в реальном мире, их подчинения интересам человека.

3. Кибернетика выработала широкий метод функционального подхода к миру, к самым разнородным его объектам. Этот метод опирается на диалектически противоречивые тенденции формализации субстратных дисциплин и субстратизацию формальных дисциплин, начавшуюся с момента установления в теории относительности зависимости геометрии от физики.

Кибернетический подход к действительности, с одной стороны, явился закономерным результатом усиления тенденций к синтезу наук, а с другой стороны, появившись, сам стал содействовать радикальному развитию этой тенденции. На обозримый период сфера применения кибернетического подхода ко все новым областям науки и практики, а также общенаучное значение этого подхода будут неуклонно расти, приводя ко все более «дикийным» теоретическим открытиям и практическим результатам. Единственно научной теоретической базой кибернетического подхода к действительности может служить только диалектический материализм, поскольку в нем органически сливаются онтологическая гибкость (настаивая на признании объективного характера реальности, диалектический материализм не навязывает естествознанию какие бы то ни было априорные черты действительности) и критически-революционная методологическая устремленность в будущее. Все это позволяет диалектическому материализму ассимилировать, органически усваивать, делать своим достоянием самые «невероятные» результаты в области познания реального бытия, получаемые специальными науками. В противоположность догматическим философским доктринам диалектический материализм представляет исследователю конкретных отраслей науки необъятное поле для самых смелых творческих дерзаний. В то же время диалектический материализм, признавая

---

<sup>1</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 20, стр. 573.



правомерность любых течений естественнонаучной мысли, исходящих из признания объективной реальности и ее познаваемости наукой, показывает относительный, преходящий характер этих течений — моментов диалектического движения познания, все более глубоко овладевающего законами объективного мира.

Только на основе творческой философии марксизма могут быть последовательно поняты как результаты самой кибернетики, так и усиленная ею общая тенденция взаимосвязи наук. Именно диалектико-материалистическая философия дает методологическое обоснование этому глубокому процессу в развитии современного знания, в авангарде которого идет кибернетика.

Вопрос о предмете любой науки имеет немаловажное философское значение. Это особенно относится к кибернетике — науке, которая не вполне укладывается в распространенную в нашей философской литературе систему классификации наук. Вопрос о предмете кибернетики (в его философском аспекте) неоднократно обсуждался в работах советских философов (Э. Кольман, М. Руткевич, А. Уемов, И. Новик, С. Шалютин и др.)<sup>1</sup>. При этом в понимании предмета кибернетики не обнаружилось каких-либо существенных расхождений. Все советские философы, всерьез занимавшиеся философскими проблемами кибернетики, разделяют исходное определение кибернетики, наиболее четко формулируемое академиком А. Бергом: кибернетика есть наука о процессах и законах управления сложными динамическими системами. Это определение представляет собой по существу уточненную формулировку предмета кибернетики, предложенную основоположником кибернетики Н. Винером (кибернетика как теория управления и связи в машинах и живых организмах). Это определение является преобладающим среди специалистов в области кибернетики и связанных с нею наук. Таким образом, можно кон-

---

<sup>1</sup> См. Э. Кольман, Что такое кибернетика?, «Вопросы философии» № 4, 1955; его же, О философских и социальных идеях Норберта Винера (в кн.: Н. Винер, Кибернетика и общество, М., 1958, стр. 5); его же, О философских и социальных проблемах кибернетики, «Философские вопросы кибернетики», стр. 102, 103; М. Н. Руткевич, Диалектический материализм, М., 1959, стр. 127—128; А. И. Уемов, Некоторые тенденции в развитии естественных наук и принципы их классификации, «Вопросы философии» № 8, 1961, стр. 73—75; И. Б. Новик, О некоторых методологических проблемах кибернетики, «Кибернетику — на службу коммунизму», т. I, стр. 39; С. М. Шалютин, О кибернетике и сфере ее применения, «Философские вопросы кибернетики», стр. 6—27.

статировать, что в вопросе о предмете кибернетики нет существенных разногласий между советскими философами и естествоиспытателями.

Рассматривая предмет кибернетики, советские философы обратили внимание на важность для кибернетики понятия причинности, в частности они указали на определенное сходство понятий управления и причинности в кибернетике<sup>1</sup>.

А. А. Марковым предложено новое определение кибернетики, основанное на понятии причинности. Каковы существенные черты определения А. А. Маркова, отличающие его от принятого в философской и кибернетической литературе понимания кибернетики? Во-первых, в основу определения А. А. Маркова положено понятие причинной сети (причинной зависимости); при этом предполагается, что понятие причинной зависимости считается относительным (по отношению к некоторой совокупности законов природы *М*, от специфического характера которой абстрагируются); соответственно этому понятие информации также определяется с привлечением некоторой совокупности законов природы. Во-вторых, в определении А. А. Маркова речь идет о таких сложных причинных сетях, которые допускают отвлечение от их качественной определенности, которые можно синтезировать из (наперед) заданных элементов, заданным образом реагирующих на внешние воздействия, и которыми можно управлять. В-третьих, допускается, что причинные зависимости могут носить как лапласовский, так и вероятностный характер; кибернетика может рассматривать системы как с дискретным, так и непрерывным временем (и, соответственно, пространством), причем последние рассматриваются в качестве предельного случая первых.

Таким образом, вместо ссылки при определении кибернетики на термины *управление*, *информация* и другие А. А. Марков предлагает исходить из системы причинных сетей. Однако

---

<sup>1</sup> Отметим, что И. Б. Новик указывает не только на сходство, но и на различие этих понятий в кибернетике. Он пишет: «Прежде всего причинность — это форма объективной связи, при которой одно явление (причина) вызывает, порождает другое (действие или следствие), а в управлении речь идет об упорядочении уже существующей системы (при этом, конечно, одна система может порождаться другой, но это не является необходимым условием управления)».

Далее, управление связано с процессами упорядочения, а причинность имеет место, конечно, и в процессах дезорганизации; дезорганизация системы, переход в неупорядоченное состояние, тоже осуществляется в соответствии с принципом причинности» (И. Б. Новик, О некоторых методологических проблемах кибернетики, «Кибернетику — на службу коммунизму», т. I, стр. 36).

из приводимого А. А. Марковым анализа явствует, что специфика причинных сетей сводится в конечном счете к тем же системам управления, рассматриваемым при обычном определении кибернетики. С этой точки зрения можно утверждать, что определение кибернетики, предлагаемое А. А. Марковым, суть разновидность общепринятого определения. Перемещение же акцента в определении кибернетики на понятие причинности не может не представлять философский интерес<sup>1</sup>.

Однако определение А. А. Маркова в той форме, которую оно у него носит, обладает в философском плане некоторыми недостатками. В принципе представляет большой интерес положить в основу определения предмета кибернетики понятие причинно-следственной зависимости, но в этом случае речь должна идти не о категории причинности, не о причинности вообще, а о какой-то конкретной, специфической форме причинности. А. А. Марков не раскрывает специфики причинных зависимостей, исследуемых в кибернетике, так как пытается в определении обойти такое основополагающее понятие кибернетики, как *система управления*. Но в таком случае возникает вопрос: каково же различие между пониманием причинности в философии и в кибернетике? Мы должны либо низвести философскую категорию причинности до уровня понятия причинности в кибернетике, либо установить специфические черты кибернетической формы причинности. Поскольку первый вывод недопустим, а второй не реализован в статье А. А. Маркова, мы вправе рассматривать его определение кибернетики как слишком широкое. При определении кибернетики через причинно-следственные зависимости следует обязательно установить специфику этих зависимостей в кибернетике. Пока этого не сделано, представляется более целесообразным пользоваться известным определением, памятуя, что нельзя абсолютизировать или гипертрофировать определения вообще, ибо, как писал Ф. Энгельс, «когда вещи и их взаимные отношения рассматриваются не как постоянные, а как находящиеся в процессе изменений, то и их мысленные отражения, понятия, тоже подвержены изменению и преобразованию; их не втискивают в окостенелые определения, а рассматривают в их историческом, соответственно логическом, процессе образования»<sup>2</sup>.

Вместе с тем следует отметить ценную инициативу А. А. Маркова в анализе основных понятий кибернетики, его попытку положить в качестве одного из принципов классици-

---

<sup>1</sup> Сравни в этой связи изложение идей А. А. Маркова в статье «Кибернетика», «Философская энциклопедия», т. 2, стр. 503.

<sup>2</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 25, ч. I, стр. 16.

кации наук принцип причинности. Многие специалисты по кибернетике, включая и Н. Винера, рассматривали проблему причинности в этой новой науке<sup>1</sup>, однако они недостаточно обращали внимание на специфические черты той формы причинности, которая рассматривается в кибернетике, в сравнении с уже известными в науке причинно-следственными связями. Выступление А. А. Маркова послужит стимулом для специальных исследований сущности причинно-следственных связей в сложных динамических системах (учитывая функциональный подход при исследовании этих систем, — т. е. отвлечение от характера их внутренней структуры, — отношения, связанные со знаками и т. д.), а также для изучения вопроса о построении новой классификации специальных наук, основывающейся на многообразии форм причинно-следственных связей.

---

<sup>1</sup> См. *Н. Винер*, Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине, М., 1958, стр. 121—122; *У. Р. Эшби*, Введение в кибернетику, стр. 13—17, 234—235 и др.; *его же*, Применение кибернетики в биологии и социологии, «Вопросы философии» № 12, 1958, стр. 110.

**О некоторых важных  
философских вопросах  
кибернетики**

Важной проблемой, приобретшей актуальное значение в связи с развитием кибернетики, является проблема взаимосвязи наук. В настоящее время может считаться удовлетворительным контакт кибернетики с техническими науками, главным образом с электроникой. Что же касается взаимосвязи кибернетики с такими науками, как биология или особенно экономическая наука, то здесь имеет место главным образом поиск путей совместного решения комплексных проблем. Нет, однако, сомнения, что результаты такого поиска могут быть исключительно эффективными и значительными. В частности, именно взаимодействие кибернетики с рядом других областей знания поможет внести ясность в такие проблемы, как вопрос о возможности кибернетического моделирования мышления и создания автоматов, обладающих свойствами жизнеподобных систем. С проблемой исследования взаимосвязи кибернетики и специальных наук, изучающих конкретные области действительности, в которых проявляются кибернетические закономерности, тесно связан вопрос о конкретном и абстрактном в развитии познания и вообще проблематика диалектической логики.

Рассмотрение очерченных выше вопросов мы начнем с более частной проблемы — *автоматы и жизнь*, с тем чтобы в дальнейшем перейти к общим вопросам взаимосвязи наук, поднятым развитием кибернетики.

\* \* \*

В настоящее время вопрос о возможности искусственного воспроизведения явлений жизни средствами кибернетики является предметом дискуссий, в которых вырисовались два

основных направления. Многие специалисты по кибернетике, особенно те из них, которые работают над математическими и логическими проблемами этой науки, присоединяются в настоящее время к точке зрения А. Н. Колмогорова, который говорит о принципиальной возможности искусственного создания живых существ, способных к размножению, прогрессивной эволюции, в высших формах обладающих эмоциями, волей и мышлением вплоть до самых тонких его разновидностей. Такая точка зрения не принимается, однако, в других отраслях науки. Глубокие сомнения в возможности создания машин с характерными особенностями живых существ выражают многие биологи. Весьма скептическую позицию, распространяемую подчас вплоть до подозрения в несерьезности утверждений математиков, занимают многие специалисты в области гуманитарных наук. Возражения против положительного ответа на вопрос о возможности создания «живых» и «мыслящих» машин слышатся даже из среды представителей технических наук, которым идеи кибернетики более близки, чем, например, биологам или филологам.

Взгляды философов по этому вопросу расходятся примерно так же, как и взгляды представителей специальных наук. Многого зависит от того, к какой из наук ближе всего стоит тот или иной философ. Тем не менее нельзя не заметить, что позиция известного скептицизма по отношению к утверждениям некоторых специалистов-кибернетиков по проблеме *автоматы и жизнь* в философских работах обычно преобладает.

Дискуссия о возможностях — принципиальных и технических — кибернетического моделирования процессов мышления и создания жизнеподобных систем управления не может быть обойдена вниманием. Действительную серьезность этой дискуссии можно усмотреть хотя бы в том, что многие аргументы, привлекаемые в настоящее время с целью поставить под сомнение указанную возможность, очень мало по существу отличаются от тех доводов, которые высказывались в свое время в пользу ненаучного характера кибернетики в целом. Вопросы, возникающие в связи с дискуссией о возможности кибернетического моделирования явлений жизни, настоятельно требуют для своего разрешения философского анализа. Однако в этом анализе не следует проявлять поспешности и безапелляционно поддерживать философскими положениями ту или другую из дискутирующих сторон. Напротив, в качестве начального этапа представляется более правильным попытаться найти рациональный смысл как в утверждениях некоторых математиков о *принципиальной* возможности «живых» и «мыслящих» машин, так и в возражениях несогласных с ними биологов, фило-

логов, инженеров. Естественность такого пути станет особенно ясной, если учесть, что семантическая нагрузка терминов *машина, жизнь, мышление* в соответствующих утверждениях и опровержениях зачастую весьма различна.

Говоря о машине, математик имеет в виду абстрактный образ типа «причинных сетей» или «управляющих систем», которые фигурируют сегодня в определениях предмета кибернетики как науки<sup>1</sup>. Но в таком случае утверждение принципиальной возможности создания «живых» и «мыслящих» машин равносильно, по сути дела, утверждению о том, что процессы управления и организации, где бы они ни имели место — в живом существе, экономическом образовании или технической системе, с принципиальной точки зрения возможно представить в математических или логико-математических понятиях, относящихся к теоретическим основаниям кибернетики.

С другой стороны, в большинстве возражений против возможности создания «живых» и «мыслящих» машин под машиной понимается не что иное, как конкретное техническое устройство, например современная универсальная цифровая вычислительная машина. Ясно, что сомнения и даже категорические возражения против возможности проявления такими машинами известных нам специфических свойств органической жизни, и тем более человеческого мышления, представляются также вполне справедливыми.

Таким образом, легко видеть, что в данном случае мы встречаемся с типичным примером зависимости смысла и истинности внешне несовместимых друг с другом суждений от семантического содержания входящих в них терминов. К сожалению, указанная особенность суждений о возможности создания «живых» и «мыслящих» машин, принадлежащих специалистам разных профилей, не принимается обычно во внимание, что придает дискуссии чрезмерную остроту и безрезультатность<sup>2</sup>.

Раскрытие особенностей содержания и истинности утверждений науки с учетом их выражения в терминах различных

<sup>1</sup> См. помещенную в настоящей книге статью: А. А. Марков, Что такое кибернетика?; А. А. Ляпунов и С. В. Яблонский, Теоретические проблемы кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 9, 1963; С. В. Яблонский, Основные понятия кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 2, 1959.

<sup>2</sup> Взгляды, сходные с приведенными выше, высказаны в статье Л. Б. Баженова, Б. В. Бирюкова и А. Г. Спиркина «Философские аспекты кибернетики». Послесловие к кн. Г. Клауса «Кибернетика и философия». В послесловии отмечено значение принятия или отказа от так называемой абстракции потенциальной осуществимости при рассмотрении вопроса о возможностях кибернетических устройств, а также значение уточнения связанных с этим вопросом понятий.



научных дисциплин является задачей, имеющей специфически философский характер. Правда, в философских работах на это обстоятельство не всегда обращается достаточное внимание. С этой точки зрения представляет интерес статья А. А. Ветрова «О семантическом понятии истины»<sup>1</sup>.

\* \* \*

Одним из узловых пунктов проблемы *автоматы и жизнь* является правильное сочетание абстрактного математического и логико-математического подхода к познанию жизни с конкретным изучением живой природы в научных дисциплинах биологического цикла, а также воплощение выявленных на этой основе принципов в конкретной технической и экономической практике. Успешность такого комплексного исследования возможна лишь на пути взаимного обогащения полученными результатами как теоретической кибернетики, так и ее технических средств и приложений в биологии, причем и на абстрактной, и на соответствующих конкретных ступенях познания. Прямая связь познавательного процесса, представленного в таком виде, с проблемой «восхождения» от абстрактного к конкретному как одной из центральных проблем диалектической логики, представляется несомненной. Большое значение понятий о конкретной и абстрактной ступенях познания и их соотношении для развития кибернетики уже отмечалось в некоторых работах<sup>2</sup>.

Следует, однако, заметить, что в исследованиях, посвященных разработке диалектической логики, уделяется явно недостаточное внимание современным проблемам развития специальных наук. Более того, в некоторых случаях можно встретиться даже с прямым отрицанием применимости положений диалектической логики в той или иной области специального научного знания. Например, М. Н. Алексеев в своей работе «Диалектическая логика» утверждает: «Применять в науке способ восхождения надо только тогда, когда перед ней встает такая задача. Ведь многие науки (например, педагогика, гражданская история, физика) подобную задачу не выдвигают (по крайней мере в настоящее время), потому что не накопили для этого достаточного материала»<sup>3</sup>.

---

<sup>1</sup> См. «Вопросы философии» № 9, 1962.

<sup>2</sup> Соображения по этому поводу высказаны, например, в статье С. М. Шалютина «О кибернетике и сфере ее применения», «Философские вопросы кибернетики», стр. 35—36.

<sup>3</sup> М. Н. Алексеев, Диалектическая логика, М., 1960, стр. 108.

С таким утверждением невозможно согласиться. Развитие математики, теоретической формальной (математической) логики и кибернетики показало, что современная наука вплотную подошла к изучению сложных динамических систем. Оно выявило области, представляющие общий интерес для таких направлений науки, которые до этого развивались совершенно обособленно. В первую очередь это относится к наукам физико-математического цикла, биологическим, техническим наукам, а также к ряду гуманитарных наук. Трудности эффективной взаимосвязи обусловлены здесь отнюдь не недостатком накопленного материала, а тем, что представители этих направлений науки часто еще очень плохо понимают друг друга. На современном этапе развития познания такое непонимание является серьезным препятствием на пути прогресса науки. Именно здесь серьезную помощь могут оказать диалектика и логика.

Даже если говорить о материале «гражданской истории», поскольку он относится к вопросам организации человеческих коллективов, могли бы, по-видимому, найтись плодотворные систематизирующие идеи в основных понятиях кибернетики: сложной системе, программе, информации и др.<sup>1</sup> Но тем более это относится к такой науке, как педагогика, которая уже нашла в математических понятиях и технических средствах кибернетики эффективную основу своего дальнейшего развития<sup>2</sup>. Аналогичная ситуация уже давно была отмечена в физике в связи с двояким процессом: мощным вторжением диалектики и широким использованием математического аппарата.

В. И. Ленин, характеризуя новейшую революцию в естествознании, цитирует А. Рей, который, несмотря на всю непоследовательность своей позитивистской позиции примирителя различных школ в физике, выступал все же защитником объективности физического знания. «Кризис физики, — писал Рей, — состоит в завоевании физики духом математики. Прогресс физики, с одной стороны, и прогресс математики, с другой, привели в XIX веке к тесному сближению этих обеих наук... Теоретическая физика стала математической физикой...»<sup>3</sup>.

В развитии физической науки естественно возникают трудности, связанные с необходимостью согласовывать между собой конкретные данные научных экспериментов (эксперименталь-

---

<sup>1</sup> Впрочем, применение кибернетики и математики к вопросам исторической науки уже имеет место. См. В. А. Устинов, Применение электронно-вычислительных машин в исторической науке, М., 1964.

<sup>2</sup> См., например, Ю. А. Гастев, О методологических вопросах рационализации обучения (настоящее издание).

<sup>3</sup> Цит. по: В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 48, стр. 325.

ная физика) и абстрактные математические понятия теоретической физики. И нельзя не видеть непосредственной связи этих трудностей с теми проблемами познания, которые отражены в философских категориях абстрактного и конкретного.

Вопрос о соотношении экспериментальной и теоретической физики имеет много общего с вопросом об отношении между кибернетикой и, например, биологическими науками. И сейчас, — как и в годы жизни Ленина, — в области физики в качестве основной выдвигается задача выяснить, каким образом следует переводить конкретные данные науки (результаты биологического изучения живой природы) в абстрактные теоретические понятия (область кибернетики), которые базируются на математике и теоретической логике. Отличие в данном случае можно видеть лишь в том, что в период написания Лениным книги «Материализм и эмпириокритицизм» возникли вопросы о связи между двумя разделами одной и той же науки — физики, теперь же мы встречаемся с задачей согласования данных самых различных наук, каждая из которых имеет длительную историю развития и глубоко укоренившиеся традиции. Все это, конечно, сильно усложняет проблему в целом. Однако суть ее остается той же самой<sup>1</sup>.

\* \* \*

Известна точка зрения, что для успешного решения философских вопросов специальных наук необходимо хорошо разбираться в содержании соответствующей науки. Но что означает собой требование хорошо разбираться в содержании науки, например той же самой кибернетики? Кибернетика имеет еще очень небольшую историю, но разве найдется сегодня специалист по кибернетике, который взял бы на себя смелость утверждать, что он действительно хорошо разбирается во всех существующих направлениях этой науки?

Это вряд ли вообще возможно и в отношении кибернетики, и в отношении других специальных наук. Установка на глубокое знание содержания специальной науки в качестве основного методического условия успешности решения возникающих в этой науке философских вопросов имеет только внешнюю, кажущуюся правильность. Фактически же такая установка нереальна, что раскрывается особенно полно, если учесть, что наиболее актуальные и острые философские вопросы возникают

---

<sup>1</sup> Вопросам, рассмотренным в настоящем разделе, специально посвящена статья В. С. Казаковцева «Кибернетика и некоторые вопросы взаимосвязи наук», «Вопросы философии» № 3, 1962.

не в пределах какой-либо одной из специальных наук или тем более одного из ее направлений, а, напротив, в областях стыка различных направлений и дисциплин науки, в областях их взаимосвязей и взаимодействия. Но очевидно, что претензия охватить индивидуальным сознанием кроме кибернетики еще и биологию, химию или электронику является явно несостоятельной.

Актуальность взаимосвязи специальных наук в их развитии хорошо осознается в настоящее время. При этом в ряде случаев проявляется стремление истолковать саму кибернетику в качестве необходимой и даже достаточной основы взаимосвязи специальных наук. Именно в таком плане возникает тенденция представить эту науку в качестве некоего подобия философского направления. К таким взглядам необходим критический подход.

В действительности кибернетика при всем ее своеобразии представляет собой специальную науку. Заостряя актуальность взаимосвязи научных дисциплин, она сама по себе ни в коей мере не обеспечивает этой взаимосвязи ни содержанием своих понятий, ни свойственными ей принципами исследования действительности.

В то же время любая попытка подойти к вопросам развития кибернетики с философских позиций неизбежно встречается с необходимостью учета связи кибернетики с другими науками. Это имеет место и в том, например, случае, когда в качестве объекта философского анализа принимаются такие основные понятия кибернетики, как *информация* или *система*, поскольку невозможно раскрыть философский смысл понятия информации, не показав его связи, например, с понятием *энергии*. Аналогично философский смысл понятия системы в кибернетике может быть раскрыт только при условии определения места кибернетических систем в объектах биологии, экономики или техники.

Взаимосвязь наук — именно эту проблему следует считать центральным звеном в комплексе тех философских проблем, которые возникают в настоящее время в связи с развитием кибернетики. В силу невозможности решения проблем, возникающих в связи с задачей выявления взаимосвязи различных областей знания в современной науке на основе универсализма и энциклопедизма исследователя, необходимо ориентироваться в решении указанной проблемы на широкое использование основных положений и категорий диалектико-материалистической философии.

Разумеется, задача применения положений и категорий философской теории в целях эффективного решения проблемных вопросов взаимосвязанного развития специальных наук не является простой. На этом пути можно встретиться и с тем, что положения и категории, как они представлены в работах того или иного автора (например, те же самые категории абстрактного и конкретного), действительно окажутся неприменимыми для таких целей. Философская теория, как и теория любой науки, должна развиваться в соответствии с актуальными задачами, выдвигаемыми жизнью. Применимость положений философской теории к разработке актуальных проблем развития специальных наук представляется одним из тех критериев, на основании которых проверяется действительная теоретическая ценность того или иного направления исследовательской работы в области философии.

Появление и развитие любой новой науки выдвигает перед философией задачи осмысления новых фактов, установления их места и взаимоотношений в общей системе знаний. Вполне естественно, что развитие кибернетики не могло не поставить перед философией целый ряд важных проблем.

В системе наук философии должно принадлежать сейчас почетное место «управляющей» науки, науки, регулирующей темпы развития остальных наук, обеспечивающей их согласованное развитие, оценивающей степень общности и общенаучной значимости результатов, полученных в этих науках, прогнозирующей направление развития конкретных областей знания и даже ставящей перед последними общие задачи. В этом — важное методологическое значение философии. При рассмотрении философских проблем, рожденных развитием конкретных наук, и в частности кибернетики, нельзя ограничиваться только фактами, полученными в рамках данной конкретной науки, а следует учитывать общие мировоззренческие положения диалектического материализма, основанные на всем множестве фактов, составляющих систему наших знаний.

Рассматривая философские проблемы кибернетики, многие авторы отмечают дискуссионный характер ряда принципиальных вопросов, поставленных развитием этой новой науки. В этой связи следует отметить следующее. Тогда, когда проблемы, вызывающие сейчас дискуссии, получат строгое решение средствами кибернетики и связанных с ней областей знания, прогнозы в этих вопросах, основанные на общепhilosophических соображениях, естественно потеряют смысл, так как соответствующие задачи будут решены в рамках конкретной науки; однако решение этих задач с необходимостью приводит к поста-

новке новых проблем, для осмысления которых будет важен философский подход.

Ценность философской методологии как раз и состоит в том, что она способствует выдвижению и формулировке проблем, еще подлежащих решению в конкретных науках; что она выявляет некоторые общие условия, которым должно подчиняться решение, и указывает направление исследования. С этой ролью философской методологии в развитии науки ничего общего не имеют проявляющиеся иногда тенденции ограничить творческие искания ученых в том или ином направлении. Примером такого рода ограничительных тенденций может служить тезис о невозможности моделировать мышление в его высших, творческих формах. Независимо от того, будет ли этот тезис фактически опровергнут в ходе развития кибернетики или нет, он в настоящее время зачастую несет на себе (часто даже не осознаваемые) следы идеалистических традиций, проявляющихся в тенденции «обожествовать» человека, объявить его «венцом творения» или же в стремлении воздвигнуть непроходимую стену между живым и неживым, сознательным и бессознательным. На деле такие ограничительные тенденции находятся в резком противоречии со всем духом диалектического материализма как мировоззрения, глубоко враждебного догматизму.

Значение научной философской методологии для проблем, поставленных развитием кибернетики, лучше всего можно показать на проблематике, связанной с биологией.

Среди философских проблем биологии важное место занимает осмысление значимости принципа *обратной связи*. Понятие обратной связи в биологической науке используется фактически уже давно. Не так уж важно, кем было открыто существование обратной связи в биологических системах — И. П. Павловым («рефлекторные дуги»), М. М. Завадовским («плюс-минус взаимодействие») или, наконец, П. К. Анохиным («обратная афферентация»). Конечно, приятно сознавать, что принцип обратной связи в биологических системах был открыт нашими учеными пятьдесят лет назад, задолго до оформления кибернетики. Но главное сейчас не в констатации этого факта, а в его использовании. Между тем мы до сих пор не научились по-настоящему применять для объяснения биологических явлений этот принцип; мы далеко не всегда понимаем, что понятие обратной связи, являясь общим для систем различной природы, позволяет широко пользоваться при изучении биологических объектов результатами, полученными при изучении технических систем с обратной связью, и математическим аппаратом, разработанным для этой цели.

С другой стороны, именно в биологии мы имеем дело с таким колоссальным количеством самого разнообразного фактического материала, что назрела насущная необходимость его переоценки с целью выделения главного, существенного. Именно в деле планирования биологических исследований, формулирования проблем и гипотез, требующих экспериментальной проверки, философское осмысление и обобщение кибернетических идей и методов представляются насущно необходимыми. Нельзя ограничиться простым собиранием фактов, надо уметь четко представлять место и значение этих фактов в общей системе наук, уметь отбирать наиболее важные, существенные для развития науки области поиска новых фактов.

Совершенно естественно — и развитие кибернетики это только подтверждает, — что с развитием науки, увеличением числа известных науке фактов, внедрением математических и математико-логических методов в биологию, медицину, гуманитарные науки изменяется само содержание рассматриваемых понятий; это ведет к необходимости переосмысления большого числа понятий, требует более четкого их определения, а иногда и формализации. Поэтому одной из задач философии является изучение происходящей на указанной основе эволюции понятий, установление содержания и областей их применения. Кроме уже упоминавшегося выше понятия обратной связи к понятиям, требующим философского переосмысления, относятся понятия *информация, жизнь, мышление, сознание, рефлекс, сигнал* и много других. Из множества понятий, философское переосмысление которых стимулируется развитием кибернетики, мы остановимся на понятии *качества функционирования*.

Цель современной кибернетики — построение систем, которые являются в каком-то смысле оптимальными, т. е. обладают достаточно высоким качеством. В то же время понятие качества функционирования чрезвычайно сложное и неоднозначное, особенно при применении его к достаточно сложным, комплексным системам. В сложных управляющих системах (особенно наглядно это проявляется в общественных системах) не всегда легко установить оптимальный критерий (или критерии) качества. Более того, часто критерии качества, применимые для элементов системы, могут оказаться далеко не оптимальными для всей системы в целом. Возникает сложная проблема выбора критериев качества для больших систем, разработки общей методики оценки таких критериев, изучения их иерархической взаимосвязи, изменчивости. Философское осмысление этой проблемы имеет очень большое практическое значение для построения



оптимальных систем управления народным хозяйством на всех уровнях.

Рассмотрим еще одно понятие, содержание которого существенно изменяется с развитием кибернетики. Это — сильно эволюционирующее понятие *обучения*. Появление устройств, воспроизводящих процесс обучения, и так называемые обучающиеся программы показывают большую расплывчатость и относительность этого понятия. Понятие обучения применимо, очевидно, только к таким системам, законы строения и функционирования которых еще достаточно хорошо не известны. То, что сейчас называется обучением, по-видимому, представляет собой лишь совокупность длительных и весьма несовершенных процессов ввода информации в сложные управляющие системы, в том числе и живые. Естественно, что по мере совершенствования наших знаний о функционировании памяти «настройка» организма будет производиться значительно эффективнее, чем при существующих сейчас методах обучения. В простейшем примере с обучением механической «черепахи» достаточно знать, что наличию условного рефлекса соответствует определенная температура термореле, чтобы заменить процесс обучения простым нагреванием этого термореле. Задача рационализации существующих методов обучения уже вышла из рамок теоретического рассмотрения и является насущной практической задачей, успешное решение которой позволит сэкономить колоссальное время и силы общества, откроет небывалые возможности для его дальнейшего развития.

С вопросами философского осмысления понятий кибернетики и задач установления их содержания тесно связаны вопросы терминологии. Говоря о последних, необходимо подчеркнуть большую важность задачи унификации и стандартизации рабочих терминов. Большое количество синонимов, которыми пользуются представители различных специальностей, и различные толкования одного и того же термина существенно затрудняют плодотворный симбиоз различных наук, мешают развитию кибернетики.

Большой комплекс философских вопросов связан с проблемами моделирования психических процессов. Действительно, уже сейчас возможно искусственное воспроизведение простейших элементов психических процессов, искусственное электрическое или фармакологическое воздействие на психику людей. Всем известно, что психические процессы тают в себе множество неожиданностей. Врачам-психиатрам постоянно приходится учитывать это. Поэтому вполне естественно, что моделирование психологических процессов, воспроизведение элементов сознательной или полусознательной деятельности требуют боль-

шой целеустремленности и смелости, готовности встретить и преодолеть серьезные неожиданности, которые могут возникнуть на пути исследователя. Ученые, ведущие эксперименты с «умственной деятельностью» машин, должны представлять всю глубину лежащей на них ответственности, должны быть готовыми овладеть теми колоссальными возможностями, которые таит в себе освобождение «умственной энергии» машин. Для успешного решения этих вопросов решающую роль играет правильность предвидения и оценки фактов, могущих встретиться в экспериментах. Естественно, что утверждения, декларирующие невозможность «искусственного сознания», т. е. невозможность моделирования сложных процессов мышления, не в состоянии дать какие-либо прогнозы для дальнейших исследований в области искусственного воспроизведения функций сознания; они притупляют внимание к рассматриваемым проблемам и существенно увеличивают тем самым вероятность неприятных неожиданностей. Наоборот, продуманный, основанный на научной философии методологический прогноз в области моделирования мышления приносит кибернетике большую пользу.

Возникновение и развитие кибернетики поставило перед философией большое количество серьезных проблем, успешное решение которых возможно только совместными усилиями философов, кибернетиков и представителей многих смежных специальностей. Генеральной методологической линией при этом является мировоззрение диалектического материализма.

Н. Н. ВОРОБЬЕВ

## К вопросу о философской проблематике теории игр

Как и всякая молодая научная дисциплина, кибернетика является богатым источником философских проблем различного объема и различной трудности. К сожалению, разработка философских вопросов кибернетики началась совсем недавно, и многие проблемы, необходимость разрешения которых, по всеобщему признанию, уже настоятельно диктуется практикой жизни, еще не нашли своих четких и корректных формулировок.

В настоящей статье излагаются некоторые методические соображения о подходе к философской проблематике кибернетики и указываются три таких вопроса, относящихся к *теории игр*. Так как целью данной работы является не решение, а лишь постановка некоторых философско-кибернетических задач, автор не считает уместным специально перечислять возможные ответы на поставленные вопросы, тем более что пока не видит оснований отдать предпочтение тем или иным из них.

\* \* \*

Цель обсуждения проблематики того или иного научного направления состоит в выработке в некотором смысле оптимальной программы развития этого направления. При выборе же оптимальных программ действия естественно и целесообразно привлечение хотя бы простейших соображений из арсенала метода, носящего название *исследования операций*<sup>1</sup>. Поэтому рассмотрение научной проблематики всегда имеет исследовательско-операционную сторону. Одним из таких полез-

---

<sup>1</sup> Об этом методе см., например, Ф. М. Морз и Дж. Е. Кимбелл, Методы исследования операций, М., 1956.

ных в интересующем нас вопросе соображений является тезис о плодотворности так называемого бригадного подхода к решению задач. Идея этого подхода состоит в том, что всякий вопрос, возникающий в практике, может быть правильно рассмотрен с разных сторон лишь коллективом, включающим представителей различных специальностей. Так, при решении задач, касающихся организации труда, кроме инженеров и экономистов целесообразно использовать математиков и психологов, а в исследованиях космоса участвуют коллективы, охватывающие специалистов самого широкого диапазона.

Ясно, что в тех случаях, когда количественная теория того или иного явления еще не построена, роль качественных, принципиальных суждений, основанных на общетеоретических и методологических соображениях, оказывается особенно значительной. Поэтому носители таких суждений — философы должны быть в первых рядах исследователей; они должны быть своего рода разведчиками, обладая всеми чертами ума, характера и темперамента, которые мы привыкли ассоциировать с образом разведчика.

Но построение количественной теории любого явления — будь то принадлежащее Клапейрону уравнение состояния газа или принадлежащее Ланчестеру уравнение боя<sup>1</sup> — должно начинаться с установления правомерности исходных количественных принципов и адекватности исходных количественных допущений — аксиом<sup>2</sup>. Эта предварительная оценка правомерности принципов и адекватности исходных предположений есть одно из важнейших проявлений эвристической роли философии. Возможность — иногда достаточно успешно — обходиться в такого рода ситуациях без философов-профессионалов означает лишь, что роль философа в этих случаях в коллективе исследователей берет на себя, быть может бессознательно, философски наиболее грамотный его член. Однако такое кустарное решение вопроса удовлетворяет нас все реже и реже. Возрастающая сложность исследуемых проблем требует более квалифицированного, более профессионального подхода к ним. Поэтому и философская сторона дела должна освещаться достаточно компетентными в философии работниками.

---

<sup>1</sup> См. *Ф. М. Морз и Дж. Е. Кимбелл*, Методы исследования операций, стр. 148—172.

<sup>2</sup> То, что всякая теория подвергается в конечном счете последующему испытанию практикой, здесь дела не меняет: построение и разработка современных сложных теорий прикладного характера могут требовать больших усилий крупных коллективов, значительных затрат денег и времени. Поэтому создание такой теории в расчете на последующую практическую проверку может оказаться расточительным легкомыслием.

Но здесь мы встречаемся с новой трудностью, хотя и преодолимой в принципе, но все-таки способной причинить немало беспокойства. Дело в том, что, с какой бы стороны ни подходить к научному вопросу, его существо следует представлять себе четко, а при рассмотрении возможностей применения математического аппарата этим аппаратом необходимо владеть если не творчески, то во всяком случае достаточно умело. Овладеть же существом дела и одновременно необходимым математическим аппаратом довольно сложно.

Эти трудности оказываются особенно ощутимыми при кибернетических исследованиях. Во-первых, связанные с кибернетикой задачи философски сложны, а, во-вторых, применяемый при их решении математический аппарат громоздок и абстрактен. Первое настоятельно требует привлечения философов, второе затрудняет их глубокое проникновение в проблему.

Как именно будут сняты эти затруднения, покажет будущее. Однако уже сейчас можно предложить естественный путь их преодоления. Разъясняя этот путь, уместно прибегнуть к некоторой аналогии.

При современной подготовке инженеров разнообразным курсам проектирования тех или иных агрегатов предшествует курс деталей машин. В процессе изучения этого курса будущий инженер овладевает первичными навыками проектирования и оттачивает свое конструкторское мастерство. Подобно этому творческую работу философа в области кибернетики целесообразно начинать с проектирования «философских деталей», из которых в дальнейшем можно будет строить сложные философско-кибернетические теории.

Далее будет сформулировано несколько философских проблем именно такого элементарного характера. При этом следует отдавать себе отчет в том, что легкость этих проблем надо понимать не в абсолютном, а лишь в относительном смысле: последующие задачи будут все труднее. Формулируемые в данной статье задачи связаны с той стороной кибернетики, которая называется *теорией игр*.

\* \* \*

Предметом теории игр являются математические модели конфликтных ситуаций, т. е. таких ситуаций, в которых различные участники имеют различные количественно оцениваемые интересы и располагают каждый для осуществления своих целей некоторым множеством стратегий<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Первичные сведения по теории игр можно почерпнуть, не опасаясь запутаться в математических подробностях, из популярной книги

Оказывается, что в большинстве случаев разумный образ действий участника игры состоит в выборе им некоторой *случайной стратегии* (называемой также смешанной, или рандомизированной), сводящейся к реализации некоторого случайного явления, причем выбор игроком того или иного образа действия (*чистой стратегии*) определяется исходом этого случайного эксперимента. Таким образом, в теорию игр случайное может входить не только как проявление статистической закономерности, но и как результат сознательных действий разумного участника игры.

Сказанное с новой остротой ставит вопрос о соотношении философской категории случайного и тех концепций, в которых понятие случайного находит естественнонаучное уточнение. Этот вопрос, важный и вне связи с теорией игр, особенно заслуживает рассмотрения в свете ее идей и результатов.

Как известно, аналогичный вопрос, касающийся понятия материи, был в свое время рассмотрен В. И. Лениным. Следуя этому образцу, советские ученые подвергли рассмотрению дальнейшие примеры связи философских категорий и одноименных с ними естественнонаучных понятий. Так, можно указать работу В. И. Свицерского «О философском и естественнонаучном понятиях пространства и времени»<sup>1</sup>. Сейчас актуальным становится аналогичное философское исследование понятия случайного.

Трактовка случайного в теории игр осложняется следующим обстоятельством. Обычно дуальной к случайному категории выступает категория необходимого, а случайные явления сопоставляются с явлениями детерминированными и противопоставляются им. При этом явление характеризуется как случайное, если его исход не может быть предсказан точно, а известны лишь вероятности, с которыми тот или иной исход явления может наступить. Вместе с тем если в протекании явления принимает участие сознательный субъект (лицо или коллектив), заинтересованный в определенных исходах этого явления, то предсказать будущую деятельность этого субъекта часто оказывается невозможным даже в вероятностном смысле. Так, например, в условиях военного столкновения сторона, обороняющая два пункта *A* и *B*, едва ли может указать, с какой вероятностью будет атакован противником пункт *A*, а с какой —

---

Дж. Д. Вильямса «Совершенный стратег, или Букварь по теории стратегических игр», М., 1960. Для дальнейшего изучения можно воспользоваться обстоятельной, но математически достаточно элементарной монографией Р. Д. Льюса и Х. Райфа «Игры и решения», М., 1961.

<sup>1</sup> «Ученые записки ЛГУ. Серия философских наук», вып. 2 (№ 109), 1948.

пункт *Б*. Явления, исходам которых не приписываются те или иные вероятности, называются *неопределенными*. Философское исследование тройственной связи «детерминированное — случайное — неопределенное» несомненно будет способствовать более глубокому пониманию и истолкованию целого ряда основных понятий теории игр.

Другая философская проблема теории игр, на которой мы остановимся, связана с понятием антагонизма. Занимающиеся теорией игр математики понимают антагонизм как такую противоположность интересов, при которой выигрыш одной стороны в точности равен проигрышу другой. Философски сложная идея антагонизма по существу интерпретируется при этом просто как равенство по величине и противоположность по знаку. В этой связи возникает задача детального выяснения взаимосвязи между философской категорией антагонизма и одноименным естественнонаучным (быть может, в данном случае лучше сказать общественнонаучным, а по существу теоретико-игровым) понятием. Только после выявления точек соприкосновения между этими близкими — и вместе с тем различными — понятиями, а также после обнаружения линий расхождения между ними можно будет достаточно обоснованно решать вопросы о возможности применения математически разработанной *теории антагонистических игр*<sup>1</sup> к тем или иным общественным явлениям. Это тем более актуально, что в своем чистом — так сказать математически чистом — виде антагонизм проявляется крайне редко (пожалуй, только в отдельных, предельно четких военных ситуациях да еще в спортивных состязаниях). С другой стороны, антагонизм как философски понимаемая противоположность интересов (личных, коллективных или классовых) встречается довольно часто. Некритическое, догматическое применение теории антагонистических игр может означать слишком острое восприятие ситуации и в связи с этим привести к серьезным неблагоприятным последствиям. Наоборот, неоправданный отказ от использования этой теории ведет практически к утрате ценного математического оружия, а теоретически может повлечь за собой ошибки оппортунистического характера.

Наконец, третья проблема.

Одна из основных задач теории игр состоит в определении тех действий игроков, которые являются разумными (оправданными, целесообразными). Однако что такое разумные действия и чем отличаются они от иррациональных, неразумных, нерациональных,

---

<sup>1</sup> Здесь антагонизм понимается в математическом смысле, в смысле теории игр.

нецелесообразных? Каковы критерии разумности (в смысле целесообразности) и каковы те принципы, следуя которым игрок осуществляет разумные действия? Ведь чистое стремление игрока к максимизации своего выигрыша, хотя именно в этом и состоит цель каждой игры, еще не может считаться принципом поведения этого игрока, ибо величина его выигрыша зависит не только от его собственных действий, но и от стратегий остальных участников игры, которые руководствуются своими, т. е. иногда совершенно иными, соображениями.

В случае антагонистических игр разумность действий устанавливается сравнительно легко. Для каждого игрока естественно стремиться максимизировать тот минимальный выигрыш, который он может себе обеспечить независимо от деятельности противника. Эта идея обычно называется *принципом минимакса*.

Между прочим, этот принцип в применении к области инженерных расчетов представляет собой интересное диалектическое повторение одного распространенного в прошлом подхода. Раньше в технике было принято производить инженерные расчеты, ориентируясь на наименее благоприятные стечения обстоятельств. Сравнительно недавно (в 30—40-е годы) этот консервативный подход начал вытесняться вероятностными соображениями, в силу которых вычислялись вероятности отдельных неблагоприятных обстоятельств, наименее вероятные их сочетания вообще сбрасывались со счетов как практически невозможные и все рассуждения производились применительно к некоторой средней обстановке. Теперь, пользуясь теорией игр, мы на первый взгляд возвращаемся к старой методике, ориентированной на наименее благоприятные обстоятельства. Однако методика теории игр в действительности синтезирует оба предыдущих подхода, ибо фактически действия игроков оказываются в большей части случайными, так что «перестраховочная» точка зрения сочетается здесь с усредняющим вероятностным расчетом.

Итак, критерий разумности действий игроков в условиях антагонистической игры находится довольно просто. Для игр более сложной природы это уже далеко не так. Даже при переходе к неантагонистическим играм двух лиц возможны различные точки зрения на разумность поведения игроков. Одна из таких точек зрения состоит в том, что разумными признаются лишь действия, направленные на достижение осуществимых целей. При этом следует помнить, что всякая цель достигается лишь в результате фактических совместных действий игроков.

Значит, если некоторая ситуация полностью удовлетворяет одного игрока, но совершенно не устраивает другого, то этот



другой игрок постарается этой ситуации избежать, и она окажется для первого игрока желательной, но неосуществимой.

Детальный философский разбор восходящего в какой-то мере к Гегелю понимания осуществимости как разумности и выработка дальнейших, более тонких критериев разумности действий игроков и выбора ими целей представляет несомненный интерес.

\* \* \*

Поставленные здесь задачи, разумеется, не исчерпывают всего круга философских вопросов, связанных с теорией игр. Однако их прикладной интерес и их относительная простота делают целесообразным именно с них начинать философские исследования в области теории игр.

В. Н. СВИНЦИЦКИЙ

## **К вопросу о генетической связи кибернетики с классической автоматикой**

Автоматы породили кибернетику.

Академик В. А. Трапезников

Несмотря на то что к 60-м годам нашего века кибернетика завоевала всеобщее признание, вокруг нее все еще ведутся острые дискуссии. Эти дискуссии отражают молодость кибернетики как науки, новизну и свежесть ее идей. Но есть у них и иная, более глубокая основа. Если мы обратимся к характеру дискутируемых вопросов, то легко убедимся, что значительная часть их хотя и связана с кибернетикой, не исчерпывается, однако, ее имманентным содержанием: многие вопросы, поднятые развитием кибернетики, могут быть исследованы лишь в более широкой понятийной системе, чем та, которую может дать это научное направление.

Возникновение подобных вопросов в той или иной степени характерно и для других естественных наук. Достаточно напомнить о недавних дискуссиях, связанных с обоснованием принципа дополнительности Н. Бора в квантовой физике; об опыте применения квантово-резонансного метода в химии; о том влиянии, какое оказал анализ оснований математики (в рамках математической логики) на развитие некоторых идей кибернетики<sup>1</sup>, чтобы увидеть в этом проявление общей для современного естествознания тенденции к *методологическому* исследованию наук, к разработке различного рода метанаук, предметом изучения которых является научное знание. Эта тенденция находит свое выражение в настойчивых попытках исследования закономерностей развития отдельных наук и взаимоотношений

---

<sup>1</sup> См., например, *Б. В. Бирюков и А. А. Коноплянкин*, Развитие логико-математических идей как элемент исторической подготовки кибернетики, «Вестник истории мировой культуры» № 6, 1961, стр. 45—58.

между ними, архитектоники научных теорий, в проведении логического анализа языка наук и в разработке методов обоснования достоверности полученных в них результатов и т. д. На этой основе в первой половине XX в. сложились такие новые области знания, как метаматематика (теория математических доказательств) и металогика, появились (в тесной связи с развитием идей теории информации и кибернетики) первые ростки метакимии. В таких условиях возникновение новой широкой области знания, охватываемой кибернетикой, с самого начала сопровождалось существенным методологическим анализом ее познавательных средств. По нашему мнению, такие вопросы, как содержание предмета кибернетики, исследование природы ее фундаментальных понятий (информация, управление и др.), обоснование возможности применения ее методов в биологии и гуманитарных науках и ряд других, вокруг которых главным образом ведется полемика, выходят за рамки кибернетики и могут рассматриваться лишь в более широкой системе наук, тесно связанных с кибернетикой, а также в широком общеполитическом контексте. Ниже мы попытаемся, используя указанный подход, проанализировать процесс возникновения кибернетики как науки и вместе с тем осветить научное содержание ее предмета как бы с внешней для нее стороны. Для корректной постановки задачи важно «не забывать основной исторической связи, смотреть на каждый вопрос с точки зрения того, как известное явление в истории возникло, какие главные этапы в своем развитии это явление проходило, и с точки зрения этого его развития смотреть, чем данная вещь стала теперь»<sup>1</sup>. В соответствии с этим мы свяжем позитивное рассмотрение поставленной выше задачи с логико-историческим анализом закономерностей возникновения и становления новой науки, учитывающим преемственность процесса развития.

Где искать те характерные тенденции в развитии научного знания, которые привели к возникновению кибернетики? С чего начинать исследование предмета кибернетики, ее историю? Эти вопросы просты по форме, но сложны по содержанию. Если по установившейся традиции отправляться от древних времен и при этом игнорировать логический анализ процесса развития научных и технических идей, трудно избежать субъективизма в выделении истоков кибернетических идей в период их латентного развития. Игнорирование логического начала, характерное для абстрактно-эмпирического подхода к истории науки, не может, конечно, компенсироваться обращением к этимологии древнегреческого слова *κυβερνήτης*.

---

<sup>1</sup> В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 39, стр. 67.

При рассмотрении истории всякой науки исследователь явно или неявно руководствуется некоторой готовой логической схемой, которая связана с его — пусть интуитивными — представлениями о том, что является объектом данной науки. В нашем анализе в качестве его исходного пункта мы примем сложившееся в нашей литературе и апробированное опытом определение кибернетики «как науки о законах управления сложными динамическими системами»<sup>1</sup>. Соответственно этому определению мы будем «читать» объективную историю кибернетики.

Начнем с того, что непосредственным предшественником кибернетики в системе наук является классическая автоматика, которая занимается изучением систем автоматического регулирования и управления, иначе говоря, является теорией автоматических функциональных систем любой природы. Термин *классическая* мы используем здесь, с одной стороны, как указание на то, что эта теория основывается на законах классической механики Ньютона, а с другой — для указания на определенный, классический период развития автоматики, который длился примерно до 40-х годов нашего века. В этот период автоматика имела дело с консервативными техническими системами, которые характеризовались большей частью линейными функциональными зависимостями между ограниченным числом основных параметров или даже нелинейными связями, но сводящимися к линейным в результате допустимых упрощений (так называемые квазилинейные системы). Для анализа динамики таких систем (включая исследования на устойчивость и надежность) привлекался не очень сложный математический аппарат (линейные дифференциальные уравнения первого — третьего порядка). Сколько-нибудь стройной и общей теории регулирования классическая автоматика не смогла создать и пользовалась эмпирическими методами. Ее познавательные средства совершенствовались под большим влиянием физики, особенно ее функциональной части. Обе эти науки на классическом уровне имеют общий фундамент — классическую ньютоновскую механику. Пути развития их тесно соприкасались еще и на той стадии, когда произошел переход от представлений, характерных для лапласовского детерминизма, к статистике Максвелла — Больцмана — Гиббса, или, говоря языком Н. Винера, когда в физике начала зарождаться идея «вероятностной Вселенной»<sup>2</sup>. В это время развитие аналитического аппарата автоматики проходит под знаком внедрения статистического подхода в естествознание.

---

<sup>1</sup> А. И. Берг, О некоторых проблемах кибернетики, «Вопросы философии» № 5, 1960, стр. 51.

<sup>2</sup> См. Н. Винер, Кибернетика и общество, М., 1958, стр. 23.

Так, например, во время второй мировой войны, когда ученые занимались разработкой автоматических зенитных устройств, осуществляющих упреждение положения самолета для каждого данного момента времени, обнаружили, что методы классической механики в этом случае недостаточны<sup>2</sup>; техническое проектирование таких устройств возможно только на базе теории предсказания с привлечением статистических рядов.

Влияние физики выразилось не только косвенно — в том, что создание статистической механики стимулировалось в значительной степени ее запросами; оно было более глубоким и многообразным. Это объясняется той авангардной ролью, которая принадлежала физике в естествознании первой половины XX в. Утверждение принципиально новых кардинальных физических идей в первой четверти XX в., связанное с именами Дж. В. Гиббса, М. Планка, А. Эйнштейна и Н. Бора, сопровождалось ломкой классических воззрений сначала в теоретической физике, а затем и в других естественных науках. В результате была построена новая, более адекватная действительности естественнонаучная картина мира, по существу статистическая, содержащая динамические закономерности на низшем классическом уровне в «снятом» виде. В ней и воплотилась идея «вероятностной Вселенной».

Принятие статистической модели мира означало углубление и усложнение наших представлений об окружающей действительности. Соответственно усложнились задачи автоматического регулирования, возникающие в рамках «вероятностной Вселенной». При всем их качественном многообразии нетрудно выделить те основные моменты или характерные особенности этих задач, которые требовали нового подхода, иных, более эффективных методов решения (наряду с методами классической механики). Указанные задачи в своем подавляющем большинстве приводили к рассмотрению сложных функциональных систем, которые характеризуются большим количеством основных параметров и определенным типом зависимостей между ними (наличием корреляционных взаимосвязей, переплетающихся цепей обратной связи, нелинейностей высших порядков), а также сложностью математического задания состояния системы во времени, в котором учитываются случайные воздействия среды. Такие существенно нелинейные системы называются сложными динамическими системами. Их градация по степени сложности определяется прежде всего увеличением

---

<sup>1</sup> См. *Н. Винер, Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине*, стр. 15.

количества основных параметров. По этому признаку выделяют как наиболее сложные так называемые большие системы, или системы большого масштаба (*large-scale systems*)<sup>1</sup>. «Они отличаются от прежних, «малых» технических систем не только количественно — обилием частей и органов, но и качественно — иным, более высоким уровнем организации, иными, более сложными функциональными взаимосвязями этих частей и органов»<sup>2</sup>. Характерной особенностью сложных динамических систем является их *функциональная эмерджентность* (терминология У. Р. Эшби). Она предполагает такой тип внутреннего взаимодействия системы, при котором свойства целого не сводятся к суммарным свойствам частей. К исследованию сложных динамических систем приводили самые различные по своему характеру задачи, возникающие в технике связи, в механике сплошных сред, при анализе операций в промышленности, в ядерной физике, в теории массового обслуживания и, наконец, в проектировании технических управляющих устройств различного назначения.

Задачи автоматического управления, возникающие в рамках «вероятностной Вселенной», в силу их качественного своеобразия необходимо было решать без тех существенных упрощений, которые допускались в их классической постановке. Эти задачи обладали еще и той особенностью, что в силу их большой практической значимости качественные методы их решения были недостаточными, а эффективное применение численных методов обуславливалось возможностью выполнения колоссального количества вычислительных операций (например, проектирование и расчет ядерных реакторов или ускорителей высоких энергий в атомной физике). Практическое выполнение этой цели лимитировалось возможностью проведения полной автоматизации вычислительного процесса.

Будучи поставленной перед необходимостью решать эти новые, очень сложные задачи, классическая автоматика с ее эмпирическими методами и примитивной технической базой оказалась несостоятельной. Для исследования сложных динамических систем начиная с 20-х годов используются топологические методы, сложившиеся и оказавшиеся плодотворными в других науках (в первую очередь в качественной теории дифференциальных уравнений), в частности метод фазового пространства (Андронов А. А.<sup>3</sup> и его школа, Биркгофф Д. Д. (США)<sup>4</sup>

<sup>1</sup> См., например, Г. Х. Гуд, Р. Э. Маккол, Системотехника, М., 1962.

<sup>2</sup> Г. Н. Поваров, От редактора перевода, там же, стр. 5.

<sup>3</sup> См. А. А. Андронов, С. Э. Хайкин, Теория колебаний. М. — Л., 1937.

<sup>4</sup> D. D. Birkhoff, Dynamical Systems, 1927; Д. Биркгофф, Динамические системы, М. — Л., 1941 (рус. пер.).

и др.). Интенсивно разрабатываются аналитические методы исследования оптимальных систем управления (Р. Беллман (США)<sup>1</sup>, Л. С. Понтрягин<sup>2</sup>, Н. Н. Красовский (СССР)<sup>3</sup> и др.).

Поиски новых способов исследований сложных систем ведутся и поныне, однако уже к концу 40-х годов нашего века сложился ряд научных направлений, которые могли быть использованы для их анализа. Так, к этому времени была разработана на основе эргодической теории статистическая механика Гиббса; получили значительное развитие теория случайных процессов (А. Н. Колмогоров) и теория информации (К. Шеннон), которые наряду с вариационным исчислением и некоторыми направлениями математической логики давали в комплексе эффективные методы решения новых проблем автоматического управления. В то же время на основе достижений электроники и радиотехники создавались технические предпосылки для радикального совершенствования автоматики. Таким образом, объективные условия для революционного качественного скачка в развитии классической автоматики созрели.

Как мы отметили выше, трудности, с которыми столкнулась автоматика в этот период, были вызваны двумя классами задач, относящимися соответственно к автоматизации управления сложными динамическими системами и к автоматизации вычислительных процессов. При этом обнаружилось одно интересное и важное обстоятельство. Оба эти класса задач могли быть формализованы, и между ними могла быть установлена взаимосвязь благодаря, в частности, использованию аппарата классической булевой алгебры. Формализация открыла возможность сведения решения качественно различных задач к последовательности вычислительных операций, т. е. возможность унификации и стандартизации процесса их решения. И когда в начале 40-х годов ученые и инженеры занялись разработкой первых быстродействующих цифровых вычислительных машин, стало очевидным, что создание таких машин означает не столько рационализацию вычислительных процессов, сколько принципиально новые возможности исследования и управления слож-

---

<sup>1</sup> R. E. Bellman, G. I. Gloksberg, O. A. Gross, Some Aspects of the Mathematical Theory of Control Processes. U. S. Air Force Project Rand, Rand Corporation, California, 1958.

<sup>2</sup> См. В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко, Л. С. Понтрягин, Принципы максимума в теории оптимальных процессов управления, «Труды I Международного конгресса международной федерации по автоматическому управлению», стр. 457—467; Л. С. Понтрягин, В. Г. Болтянский, Р. В. Гамкрелидзе, Е. Ф. Мищенко, Математическая теория оптимальных процессов, М., 1961.

<sup>3</sup> См. Н. Н. Красовский, К теории оптимального регулирования, «Автоматика и телемеханика», т. 18, № 11, 1957.

ными системами. Вместе с тем это ознаменовало собой начало нового периода в развитии автоматике. Однако потребовались еще годы брожения и становления новых идей, разработки некоторых теоретических проблем, в частности теории игр и математической теории надежности вычислительных машин, построенных из ненадежных элементов, в работах Э. Бореля, Дж. Неймана и других; теории алгоритмов в работах А. М. Тьюринга, А. А. Маркова и других; теории программирования для цифровых машин, а также накопления эмпирических данных и практической проверки новых положений (разработка и апробирование автоматических вычислительных и логических устройств и сложных электронных систем), прежде чем американский ученый Н. Винер в 1948 г. провозгласил миру рождение новой науки — кибернетики.

Таким образом, 1940—1948 годы явились поворотным пунктом в истории развития автоматике. Она вступила в новый, высший этап своего развития. Обратившись к анализу сложных динамических систем и решению задач управления такими системами, автоматика значительно расширила объект исследования. Это повлекло за собой разработку новых теоретических принципов, поиски нового подхода, применение новых методов и математического аппарата. Изменение объекта исследования и теоретическое обогащение автоматике существенно обновили ее содержание, которое теперь вышло за рамки предмета классической автоматике как технической дисциплины, а значит, уже не могло быть адекватно выражено в форме старого понятия автоматического регулирования. Поэтому Винер был вынужден ввести для его выражения новый термин — кибернетика. Под таким углом зрения *кибернетика суть автоматика сложных динамических систем или теория оптимального автоматического управления сложными динамическими системами*.

В этом определении содержится указание на преобладание в развитии классической автоматике и кибернетики. Это отнюдь не означает сведения последней к уровню технической дисциплины. Основная посылка, которую следует принять, — утверждение Н. Винера о том, что кибернетика — это наука об управлении и связи в животном и машине; в кибернетике в основном отвлекаются от материальной природы рассматриваемых объектов, выявляют в них прежде всего системы связей и отношений, порядок функционирования<sup>1</sup>. Абстрагируясь от конкретных специфических свойств предметов, кибернетика тем самым исследует не людей, животных или искусственные

---

<sup>1</sup> В этом смысле иногда утверждают, что кибернетика является «междисциплинарной» наукой («interdisciplinary» science), т. е. что она, «как и математика, проходит через академические границы наук».



•

машины, как таковые, а эти объекты как автоматы или функциональные системы. Именно это характерное, по нашему мнению, обстоятельство нашло свое отражение в приведенном выше определении, которое, разумеется, не претендует на исчерпывающую полноту. Однако, хотя кибернетика в целом и абстрагируется от конкретных физических свойств объектов, это не дает достаточных оснований для того, чтобы категорически утверждать, как это иногда делают, что кибернетика не зависит от законов физики или свойств материи. Обе науки связаны между собой неявно посредством статистической механики Гиббса, разработанной на основе эргодической теории. Именно через статистическую механику в кибернетику вошли такие важные понятия, сложившиеся первоначально в физике, как фазовое пространство и энтропия. Разумеется, их смысловое содержание при этом в какой-то степени изменилось, но сам факт понятийной связи между кибернетикой и физикой налицо. Очень показательным в этом отношении наличие внутренней связи между информацией и термодинамической энтропией. Весьма существенно также, что циркуляция информационных потоков в управляющих системах очень малых размеров определяется законами квантовой физики. Все это свидетельствует о том, что кибернетические теории строятся с неявным учетом физических закономерностей рассматриваемых систем. Тем более законы кибернетики зависят от свойств материи; «...они, как и законы всякой науки, *выводятся* из этих свойств»<sup>1</sup>.

\* \* \*

Итак, непрерывная эволюция предмета классической автоматике, обусловленная постепенным усложнением исследуемых систем, привела в конечном счете к радикальному изменению ее содержания, которое уже не могло быть адекватно выражено в рамках понятия *автоматика* (в ее классическом представлении как технической дисциплины). Возникла новая наука — кибернетика. *По отношению к классической автоматике кибернетика находится в таком же отношении непосредственной преемственности, какое характерно, например, для физики классической и физики современной (релятивистской, квантовой).*

---

<sup>1</sup> В. А. Успенский, Примечания редактора. См. У. Р. Эшби, Введение в кибернетику, М., 1959, стр. 14.

До возникновения кибернетики факты и явления, относящиеся к области управления и коммуникации, изучали естественные и технические науки. В биологии, например, были выделены такие понятия, как *установление временной нервной связи, передача возбуждения, нервный путь, стимул, раздражимость, реакция* и др. Параллельно с ними существовали аналогичные понятия, но уже в области техники: *контакт, канал связи, вход, выход, помеха, обратная связь* и т. п. Кибернетика нашла в этих и подобных им понятиях нечто общее, одинаковое; более того, она выделила закономерности, относящиеся к управлению и связи, в качестве своего предмета исследования и создала собственную систему понятий, в которую входят такие понятия, как *управление, связь, информация, энтропия, моделирование, кодирование* и др.

В связи с оформлением системы понятий кибернетики (и соответствующих им терминов) возник ряд трудностей как методологического, так и терминологического характера. При всем отличии кибернетики от философии в одном пункте между ними имеется сходство: подобно философии кибернетика обобщает данные наук, изучающих конкретные процессы действительности, но не заменяет эти науки<sup>1</sup>. Биология, психология, современная формальная, т. е. математическая, логика и другие конкретные науки продолжают активно развивать свои собственные системы понятий. Здесь и начинаются трудности.

Кибернетика почти все свои термины заимствовала у других наук. Значительная часть понятий кибернетики и других

---

<sup>1</sup> Это обобщение касается лишь определенной стороны процессов действительности, а именно стороны, относящейся к управлению и информации, что и обуславливает существенно меньшую общность понятий кибернетики по сравнению с философскими категориями.

наук перекрещивается. Речь идет именно о перекрещиваниях, а не о совпадении. Для биолога явления обратной связи, замыкания связей, передачи сигнала, реакции — все это результат работы не любой, а именно нервной системы. Когда биолог и кибернетик говорят «обратная связь», то каждый из них имеет в виду различные по объему — а в значительной мере также и по содержанию — понятия (относящиеся в одном случае к работе нервной системы, а в другом случае — к работе любой замкнутой системы), что почти неизбежно приводит к взаимному непониманию.

Как избежать подобной неопределенности? Наиболее простым был бы такой вариант: в конкретных науках оставить старые термины, а для понятий кибернетики подобрать новые слова, как, например, было сделано с самим понятием *кибернетика*. Таким путем шла, в частности, математическая логика, вырабатывая свои понятия о логических операциях конъюнкции, дизъюнкции, импликации, эквиваленции и др. Однако применительно к кибернетике этот путь в целом уже не реален, так как ее понятия к настоящему времени успели психологически срастись с определенными словесными наименованиями, и специалисты вряд ли пойдут на серьезную терминологическую перестройку.

Остается второй путь — максимально точное определение аналогичных понятий как в области кибернетики, так и (обязательно!) в области наук, изучающих конкретные процессы управления в тех или иных областях действительности. При этом, возможно, удастся ввести в употребление и внешние языковые отличия терминов кибернетики от терминов конкретных наук (сравни *связь*, *обратная связь* и *нервная связь*, *обратная нервная связь*).

В конкретные науки сейчас активно вливаются и сами кибернетические понятия (например, *наследственная информация* в биологии и *смысловая информация* в психологии). При этом также нужны разграничения, ибо наследственная информация, например, никак не может быть отождествлена со смысловой информацией.

Кибернетика практически неотделима от ее конкретных применений в технике; она тесно связана с использованием современных электронных средств автоматизации, цифровых вычислительных машин. Кибернетика в этом аспекте (техническая кибернетика) имеет свою систему понятий, которая тоже явно соотносима с системой понятий конкретных, некибернетических наук. В качестве примера можно указать такое важное понятие, как *память*. Известно, что понятие памяти — одно из основных понятий психологии. Что же такое «память» машины?

Машина, конечно, не имеет человеческой памяти, но в ней есть в известном смысле ее модель. Таким образом, задача разграничения, а значит и уточнения, понятий памяти в технике и в психологии и физиологии связана с уточнением понятия *модели* и введением необходимой для этого терминологии.

Как терминологически различать модель и моделируемый объект? Видимо, к обычному термину следует добавлять слово *модель* или брать термин в кавычки, что часто и делается на практике. Очевидно, что термины *модель рефлекса*, *модель обучения* были бы вполне приемлемы. А такие понятия, как *модель сознательного поведения*, *модель эмоциональных реакций*, явно более точны, чем выражения «сознание машины», «чувства машины» и т. п. Уточнение в свете принципов кибернетики понятий наук, изучающих конкретные процессы управления в различных областях действительности, имеет большое значение для расширения кругозора исследователей во многих отраслях знания. При всех ограничениях, вытекающих из специфики подхода кибернетики к своему объекту исследования, проникновение ее идей в такие науки, как нейрофизиология, психология, генетика, лингвистика и т. д., неизбежно приведет к тому, что в понятиях этих наук найдет свое отражение содержание соответствующих более общих понятий, сформулированных в кибернетике. А это в свою очередь приведет к установлению более тесной связи понятий конкретных наук с понятиями диалектико-материалистической философии, представляющими собой еще более высокую ступень обобщения.

**2**

**Кибернетика  
и жизнь**

Для того чтобы анализировать строение управляющих систем живой природы, нужно ясно представлять в чем состоит специфика жизни и в чем отличие живого и неживого. Заметим, что этот вопрос нужно решать не в каком-то абсолютном смысле, а лишь применительно к тем задачам, которые мы в данном случае преследуем. Поэтому необходимо включить изучение живого в некоторую более широкую систему — в изучение физических свойств реального вещества.

Начнем с некоторой характеристики состояния вещества. Прежде всего мы выделим некоторые пространственные и временные масштабные единицы. В разных случаях эти единицы могут быть различными, но в каждом отдельном случае они должны быть зафиксированы. Мы будем выделять некоторую сферу заданного диаметра в пределах изучаемого вещества и будем интересоваться определенными физическими и химическими характеристиками части вещества, попавшей в данную сферу, а также изменениями этих характеристик с течением времени.

Набор характеристик в настоящий момент мы не будем уточнять. Сюда будут входить: масса, свободная энергия, полная энергия системы, быть может, количество энергии, находящееся в тех или иных специальных состояниях, химический состав, который можно воспринимать как на уровне отдельных элементов или некоторых особенно устойчивых групп атомов, так и на уровне химических соединений. Мы будем предполагать, что в каждом отдельном случае набор таких характеристик является достаточно полным.

Прежде всего нас будет интересовать вопрос об однородности изучаемого вещества, под которым понимается степень постоянства характеристик для наудачу выбранных сфер

в пределах изучаемого тела. Далее, нас будет интересовать устойчивость этих характеристик на протяжении выбранных отрезков времени. Подробное обследование состояния вещества с такой точки зрения приводит к некоторым физико-химическим рассмотрениям, которые мы в настоящее время оставляем в стороне. Нас будет интересовать вещество, характеризующееся следующим образом:

1. По сравнению с другими веществами, имеющими близкие характеристики, интересующее нас вещество является относительно однородным лишь для достаточно больших сфер (порядка  $10^{-3}$ — $10^{-4}$  см); при меньших масштабах сфер однородность нарушается.

2. По сравнению с другими веществами с близкими значениями характеристик интересующее нас вещество обладает повышенной устойчивостью для тех масштабов, для которых имеет место однородность.

3. Устойчивое состояние изучаемого вещества обусловлено не повышенной стабильностью внешних условий, а способностью этого вещества сохранять свое состояние при достаточно широком классе внешних воздействий. При этом нужно отметить, что, чем большие геометрические масштабы мы выбираем, тем более высокая степень устойчивости во времени наблюдается.

4. Такая повышенная устойчивость бывает вызвана тем, что изучаемое вещество обладает способностью воспринимать информацию о состоянии внешней среды и использовать эту информацию для выработки некоторых ответных реакций, содействующих сохранению своего состояния.

5. Использование информации требует наличия некоторой специальной системы, обыкновенно дискретного действия, служащей для переработки этой информации и выработки управляющей информации, которая вызывает необходимые реакции.

Вещество, обладающее указанными пятью свойствами, мы будем рассматривать как живое.

Внешние воздействия приходится подразделять по их продолжительности и степени разнообразия. Оказывается, что более кратковременные воздействия, как правило, имеют меньшую степень разнообразия, чем более длительные. В связи с этим реакции вещества на внешние воздействия подразделяются по такому двоякому признаку: более быстрые действующие реакции с меньшей степенью разнообразия и более медленные с большей степенью разнообразия. Строго говоря, здесь возможна непрерывная серия реакций. Однако в действительности реакции подразделяются на некоторые дискретные классы. В основе этого подразделения лежит тот механизм управления,

который обеспечивает появление реакций того или иного типа. Когда управляющая система обеспечивает некоторую реакцию на достаточно разнообразные внешние воздействия, она должна пользоваться некоторым справочным материалом, некоторой хранимой информацией. Чем больше разнообразие реакций, тем больший объем информации нужно хранить; чем большая быстрота реакции, тем более быструю выборку информации нужно обеспечить.

Интересующее нас вещество обладает управляющими системами и хранилищами информации различной природы, причем разные виды памяти характеризуются разными объемами и разной быстротой выборки. Как правило, наиболее быстрой действующим устройства обладают сравнительно небольшим объемом памяти, стабильными носителями информации и разветвленной системой параллельно действующей выборки из памяти. Наиболее медленно действующие системы обладают большим запасом информации и специфическими способами ее выборки. Ясно, что информация, которая должна обеспечить устойчивость целого, сама должна храниться высокостабильным образом. В то же время, если в малом объеме, где сравнительно мало молекул, пытаться структурным образом сохранить информацию, такое хранение всегда окажется неустойчивым просто из-за теплового движения молекул. Поэтому, как только объем становится достаточно малым, единственно устойчивым способом хранения информации может быть только кодирование информации в мономолекулярных структурах. В то же время единичная молекула не может непосредственно вызвать значительных макроэффектов. Для того чтобы информация, хранящаяся в отдельной молекуле, произвела макроскопическое действие, необходим специальный механизм усиления. Механизм усиления состоит в том, что хранящаяся информация размножается путем передачи от молекулы к молекуле. Когда накапливается достаточно большое количество молекулярных носителей одной и той же информации, эта информация начинает проявляться в макроскопических свойствах соответствующего тела. Так осуществляется выборка информации, хранимой молекулярными носителями.

Исполнительные органы, как правило, располагают гораздо большей энергией и обладают гораздо большими размерами, чем органы управляющие. Системы, использующие различные виды памяти, работают на совершенно разных физических принципах и состоят из разных элементов. Было бы крайне невыгодно, если бы каждая из таких управляющих систем имела свою автономную систему исполнительных органов. Наблюдается другое: обычно все эти управляющие системы воздействуют



в конечном итоге на одни и те же исполнительные органы, однако действия этих управляющих систем являются иерархическими. Более медленно действующие управляющие системы воздействуют на параметры быстродействующих управляющих систем и тем самым несколько меняют их функционирование. Это приводит в конечном итоге к изменению действия исполнительных органов. Такая система обладает большой гибкостью и оказывается весьма экономичной. Примером такого взаимодействия управляющих систем может служить генотип — медленно действующая управляющая система; нервная система — быстродействующая управляющая система; скелетная мускулатура — исполнительные органы. Движениями непосредственно управляет нервная система, однако характер возможных движений определяется генотипом.

Перейдем теперь к рассмотрению более крупных масштабов.

Для того чтобы устойчивость крупных образований была выше, чем устойчивость составляющих их мелких образований, при наличии некоторой вероятности гибели мелких образований необходимо, чтобы имелся процесс восстановления этих мелких образований. Каждое мелкое образование нуждается в запасе информации, которая обеспечивает ему устойчивость. Новое образование информации большого объема является крайне маловероятным фактом. Естественно, что новый объект получает гибкую информацию от других, уже апробированных и достаточно устойчивых аналогичных объектов. Это размножение, сопровождающееся передачей наследственной информации. Далее, вновь образовавшийся малый объект имеет возможность накапливать информацию, используя внешние воздействия. При всякой передаче информации возможны помехи, т. е. погрешности в передаче информационного кода. Это ведет к некоторой изменчивости новых объектов. Так как эта информация служит для обеспечения устойчивости объектов, то естественно, что при искажении информации будет изменяться степень устойчивости обладающих ею объектов. В большинстве случаев это поведет к уменьшению устойчивости и, следовательно, к элиминации неудачных объектов. Однако возможны и случаи появления благоприятных изменений, ведущих к увеличению устойчивости в данных условиях. Это мутационный процесс и отбор. Такой процесс обеспечивает более высокую устойчивость больших образований по сравнению с малыми, например организма по сравнению с клетками, популяции по сравнению с организмом и вида по сравнению с популяцией.

Изменение исходной (наследственной) информации может повести также к изменению строения управляющих систем, которые развиваются под ее воздействием. Однако вполне есте-

ственно, что сколько-нибудь резкие изменения управляющих систем высоких ярусов иерархии чрезвычайно затруднены, так как это будет сказываться на функционировании всех низших ярусов и легко может привести к совершенно неблагоприятной реакции. Изменение низших ярусов управления значительно более вероятно. Оно может быть двоякого типа: а) изменение функций имеющейся системы, б) появление нового яруса, подчиненного всей системе.

Косвенно изменение низшего яруса может сказываться на высшем ярусе в таком плане: функции более высоких ярусов передаются новым низшим ярусам и одновременно высшие ярусы несколько сокращаются и за счет этого увеличивают свою надежность. У простейших организмов все функции управления сосредоточены в химизме клетки, в первую очередь в ее ядре; у более высоких форм гомеостатические функции остаются у клеточного ядра, а управление движениями переходит к нервной системе. Было бы весьма интересно проследить строение основных систем, управляющих жизнедеятельностью в пределах разных таксонов филогенетического дерева. Можно думать, что описанное выше соотношение управляющих систем в ходе эволюции можно было бы проследить, сопоставляя управляющие системы порождающего и порожденного таксонов.

Большая ценность информации с точки зрения сохранения устойчивости форм приводит к необходимости обмена информацией между разными объектами, составляющими часть общей структуры. Во всяком случае те структуры, в которых такой обмен информации возможен, будут обладать более высокими шансами на выживание, чем другие. Отсюда возникает целесообразность обучения, а также целесообразность коллективной выработки информации. Быть может, здесь лежит некоторая демаркационная линия биологической и социологической проблематики, так как именно для социологии характерно широкое коллективное использование информации, ее коллективное хранение и усовершенствование. Однако более детальное рассмотрение этого вопроса выходит за рамки настоящего доклада<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> Полное изложение нашего доклада на Теоретической конференции по философским вопросам кибернетики помещено в «Проблемах кибернетики», вып. 10, 1963.

А. В. НАПАЛКОВ

## **Кибернетика и пути изучения мозга**

В связи с развитием кибернетики открываются новые пути и возможности для изучения головного мозга. Быстро развивается теория нервных сетей. Выдвигаются новые идеи об исследовании мозга на уровне так называемых «информационных процессов». Методологический, методический подход, использующий понятие «черного ящика», по-новому ставит вопрос о путях изучения внутренней структуры мозга и о соотношении изучения структуры нервных сетей с выявлением принципов переработки информации головным мозгом.

Выдвигается идея о применимости к изучению мозга методов, основанных на приложении некоторых понятий теории алгоритмов, которая уже оправдала себя в других областях науки. Эти новые идеи и направления в исследовании приводят к весьма значительным успехам науки о мозге, успехам, которые невозможно было достичь на основе использования лишь старых методов. Эти успехи проявляются прежде всего в создании электронных моделей, воспроизводящих многие сложные формы работы мозга. Как известно, возможность практической реализации того или иного сложного явления в модели свидетельствует о том, что нам удалось достаточно глубоко познать механизмы этого явления.

В связи с развитием новых областей знания возникает много принципиальных вопросов, тесно связанных с основными проблемами философии. От правильности их постановки и решения часто зависят и успехи в конкретных исследованиях по созданию автоматов новых типов и т. д. Обсуждение этих вопросов приобретает актуальное значение.

## 1. Новые методы изучения головного мозга

В связи с развитием кибернетики стала очевидной необходимость применения новых средств в исследовании головного мозга.

Прежде всего было обнаружено, что в больших системах особым образом соединенных между собой элементов возникают совершенно новые свойства, явления и закономерности, ненаблюдаемые в более простых группах элементов.

Этот вывод, непосредственно связанный с диалектико-материалистическим законом перехода количественных изменений по мере их накопления в новое качество, объясняет те основные трудности, с которыми приходится сталкиваться на пути познания механизмов работы мозга. В основе высших форм работы нервной системы лежат, очевидно, именно свойства, присущие сложным системам. Поэтому мы не сможем понять механизмы высших форм работы мозга до тех пор, пока не найдем способов исследования сложных систем элементов.

В связи с развитием кибернетики выяснилось также, что анализ многих сложных форм работы мозга может быть дан на основе выявления комплекса простых правил переработки информации. На этой основе возникла задача более полного изучения информационных процессов, протекающих в нервной системе.

Исследование обеих этих проблем на основе использования лишь старых методов физиологии и психологии было по существу невозможно. Кибернетика открыла в этом отношении новые перспективы. Применение идей и методов кибернетики к нейрофизиологии привело к выделению области исследований, за которой все больше укрепляется название *нейрокибернетики*. В настоящее время уже в достаточной степени четко вырисовываются основные методы, используя которые нейрокибернетика может подойти к решению фундаментальных проблем, относящихся к работе мозга. Эти методы были уже описаны, поэтому мы остановимся на них очень кратко.

Целью исследования в нейрокибернетике обычно является полный анализ механизмов, лежащих в основе той или иной сложной деятельности мозга, например в основе процессов обучения или решения проблем. Исследование разделяется на два этапа. На первом этапе изучаются принципы переработки информации в головном мозгу<sup>1</sup>. На втором этапе выявляется

---

<sup>1</sup> Вместо «принципов переработки информации головным мозгом» часто говорят об «алгоритмах работы мозга». При этом термин

структура нервной сети. Критерием полноты и точности этого анализа служит возможность воспроизвести данное явление на некоторой (в настоящее время чаще всего радиоэлектронной) модели.

На первом этапе, т. е. при изучении информационных процессов мозга, применяется метод «многократного последовательного перехода». Этот метод состоит в следующем. Путем специальных экспериментов на людях или животных выявляется система правил переработки информации, лежащая в основе той или иной сложной формы работы мозга (например, в основе решения проблем). Затем выявленная система правил в виде специальной программы закладывается в универсальную цифровую вычислительную машину. Анализ работы машины выявляет дефекты программы, что требует новых экспериментальных исследований.

Эти исследования приводят к более полному выявлению принципов переработки информации в нервной системе, и на этой основе составляется новая программа для вычислительной машины, моделируются обнаруженные принципы и т. д. Этот метод исследования не только делает возможным исследование все более и более сложных форм работы мозга, но и открывает путь к применению принципов функционирования человеческого мозга в работах по созданию автоматов новых типов и в составлении программ для универсальных быстродействующих цифровых машин. Принципиально важной является основная идея описываемого метода, состоящая в том, что механизмы некоторых сложных форм работы мозга можно понять на основе выявления системы весьма простых правил переработки информации. Этот вывод доказывается возможностью искусственного воспроизведения (моделирования) изучаемого явления, например возможностью составления и введения в универсальную цифровую машину программы, работа по которой машина обнаружит свойство вырабатывать способности, которые в нее непосредственно не были заложены.

На втором этапе исследования разрабатывается гипотеза о структуре нервной сети, лежащей в основе тех систем правил переработки информации, которые были выявлены на первом этапе. При создании гипотезы исследователь опирается на развитие новой области науки — теорию нервных сетей и другие достижения кибернетики. Обычно оказывается возможным создание нескольких различных гипотез. В дальнейшем про-

---

«алгоритм» употребляется в более общем и менее точном смысле, чем тот, который за ним закреплён в современной логике и теории математических машин.

думывается система экспериментов, позволяющая шаг за шагом отбрасывать одни гипотезы, подтверждать и совершенствовать другие. При этом также используется тот же метод последовательного многократного переноса: при разработке той или иной гипотезы создается модель, соответствующая содержанию гипотезы; пригодность этой модели для выражения изучаемых нервно-физиологических или психических процессов проверяется экспериментами на животных; в результате экспериментов в выдвинутую гипотезу и построенную на ее основе модель вносят изменения, создаются новые, более совершенные модели и т. д.

Следует подчеркнуть, что описанные два этапа в изучении мозга тесно связаны друг с другом. Непосредственное изучение структур нервных сетей, лежащих в основе различных сложных форм деятельности мозга, обычно не приводит к положительным результатам. Но эта задача становится разрешимой, если сначала изучается мозг на уровне информационных процессов, а затем на основе выявленных принципов переработки информации в нервной системе исследователи подходят к анализу нервных сетей.

## **2. Основные перспективы использования новых методов исследования**

Описанные выше методы исследования вносят существенное изменение в изучение головного мозга и открывают большие перспективы.

Известно, что попытки понять механизмы работы мозга на основе выявления принципов, лежащих в основе его деятельности, делались давно. И. М. Сеченов высказал идею о том, что в основе всех форм психической деятельности лежит принцип рефлекса. И. П. Павловым было разработано учение о высшей нервной деятельности, создан метод объективного изучения мозга и вскрыты многие важные принципы работы последнего. Немаловажное значение с интересующей нас точки зрения имеет также ряд работ американской школы бихевиористов.

Ряд принципов работы мозга, вскрытых психологами и физиологами, исходя из современных представлений могут быть рассмотрены как принципы переработки информации. Например, принцип «проб и ошибок» играет, очевидно, большую роль при формировании целесообразного поведения, и он широко используется при создании самообучающихся автоматов.

Целесообразность в природе, согласно представлениям Ч. Дарвина, объясняется отбором полезных изменений из большого количества случайных отклонений. Тот же принцип отбора лежит в основе целесообразности и при формировании поведения (из большого числа случайных движений отбираются и закрепляются те действия, которые приводят к полезным результатам).

Однако при проведении перечисленных выше исследований отсутствовал критерий, который позволил бы выяснить, действительно ли вскрыты все принципы работы мозга, существенные для понимания данной формы нервно-психических процессов, поведения и т. п. Это приводило к тому, что после открытия того или иного принципа (например, принципа «проб и ошибок») часто делались необоснованные попытки сведения всех сложных форм работы мозга к одному или нескольким принципам переработки информации. Отсутствие знаний восполнялось системами словесных объяснений, которые иногда казались столь убедительными, что практически на длительный период времени приостанавливали исследования по выявлению новых, еще неизвестных принципов работы мозга.

Как протест против присущего школе бихевиористов упрощенного истолкования принципов, лежащих в основе целесообразного поведения, возникла школа гештальтпсихологии, которая подчеркивала целостный характер поведения и отрицала возможность понимания сложных форм работы мозга на основе выявления относительно элементарных принципов переработки информации.

Между тем в настоящее время стало очевидным, что анализ сложных форм работы мозга возможен именно на путях выявления принципов переработки информации. При этом описанные выше принципы, вскрытые психологами и физиологами, представляют собой только отдельные частные компоненты тех сложных алгоритмов переработки информации, которые в действительности лежат в основе работы мозга.

Отсутствие разработанной теории и методологии исследования информационных процессов приводило к тому, что развитие этой области исследования шло очень медленно. Отсутствовал целенаправленный поиск новых принципов переработки информации, не разрабатывались новые методики, удобные для этой цели. Анализ экспериментальных данных проводился только под углом зрения проблем физиологии и психологии.

Известно, что учение И. П. Павлова и созданный им метод изучения высшей нервной деятельности открывают широкие перспективы для изучения информационных процессов. Однако среди некоторых учеников и последователей И. П. Павлова

получила распространение ошибочная тенденция трактовать метод условных рефлексов лишь как средство для исследования динамики нервных процессов. Глубокий анализ экспериментальных данных зачастую при этом подменялся заключением, что в основе наблюдаемых явлений лежат процессы иррадиации и индукции возбуждения или торможения; после объяснения (часто лишь кажущегося) новых фактов на основе известных ранее физиологических процессов вопрос считался исчерпанным. При таком подходе любые новые факты, относящиеся к области информационных процессов, теряли свою специфичность, так как сводились к уже известным ранее законам иррадиации и индукции. Критикуемый подход не влечет за собой постановки новых вопросов, могущих стимулировать новые экспериментальные исследования, так как из поля зрения исследователя исчезала важная сторона изучения высшей нервной деятельности, связанная с переработкой информации. С другой стороны, отсутствие новой проблематики отрицательно сказывалось на развитии методики исследования.

И. П. Павловым был разработан метод объективного изучения высшей нервной деятельности. Этот метод связан с изоляцией организма от реальной внешней среды и созданием искусственной упрощенной модели внешнего мира в виде комплекса включаемых экспериментатором сигналов. Этот метод открыл большие возможности для более точного изучения информационных процессов. Он позволил выявить четкие правила переработки информации. Логическим развитием этой методики должно быть последовательное усложнение используемых в эксперименте моделей внешней среды.

Модели, используемые в классической методике, отражали только один из простейших случаев. В самом деле, по установившейся в настоящее время методике выработки условных рефлексов у животных экспериментатор в нужное время включает нужные сигналы в условиях максимального отсутствия посторонних раздражителей. В естественных условиях жизни такая ситуация, облегчающая формирование систем рефлексов, конечно, отсутствует. Поэтому естественно возникает вопрос, обеспечивают ли выявленные школой И. П. Павлова принципы образования условных рефлексов формирование целесообразного поведения в сложных условиях реальной среды обитания организма. Такая постановка вопроса требует развития методики исследования в сторону усложнения используемых в опыте моделей внешней среды. На этом пути можно было бы выявить более сложную систему правил переработки информации. Этому препятствовала, однако, описанная выше система представлений, рассматривающих методику выработки условных



рефлексов только как метод исследования динамики нервных процессов.

Кибернетика внесла существенные изменения в изучение головного мозга. Уже попытки создания первых самообучающихся автоматов выявили недостаточность сведений, накопленных физиологией и психологией. Стало очевидно, что исследование информационных процессов, протекающих в живых организмах, является важной проблемой кибернетики. Большое значение имел также вывод о том, что на уровне информационных процессов могут быть выявлены механизмы сложных явлений, что сложные формы работы мозга могут быть разложены на систему относительно простых правил переработки информации.

На этой основе изменились цели исследования и методы анализа полученных фактов. В современной нейрокибернетике в каждом отдельном исследовании четко ставится цель дать научный анализ определенной сложной деятельности мозга (например, явления самообучения). Анализ проводится на основе выявления принципов переработки информации; при этом учитываются не только сами принципы, но и последовательность их использования (алгоритм). При выявлении каждого нового принципа устанавливается его место во всей системе принципов переработки информации, которые, как предполагается, относятся к изучаемой (или более широкой) форме деятельности мозга. После выявления этой системы принципов ставится вопрос, в какой мере она может обеспечить тот сложный феномен, который является предметом изучения. В каких условиях выявленные принципы могут оказаться применимыми? Может ли обнаруженная система правил переработки информации привести к сокращению числа пробных взаимодействий организма со средой и к сокращению количества информации, которое должно сохраняться в его памяти? Для решения этих вопросов опять-таки строится модель. Анализ модели показывает, в какой мере получаемые результаты объясняют изучаемое явление, выявляет недостаточность сделанных ранее выводов и указывает пути дальнейших поисков.

Такая система исследования стимулирует целенаправленный поиск новых принципов и ведет к быстрому прогрессу в изучении мозга, обеспечивает быстрое развитие новых экспериментальных методов. Становится, в частности, очевидной необходимость комплексного использования систем различных моделей внешней среды, каждая из которых отражает какие-либо характерные особенности реального мира. Путь исследования обычно идет от использования простых моделей к все более и более сложным. Результаты всех опытов обрабаты-

ваются особым образом с целью выявления по возможности наиболее полной системы алгоритмов работы головного мозга, пригодной в реальных условиях внешней среды.

В результате этих исследований обнаружено, что в основе сложных форм работы мозга лежит сложная система правил переработки информации. Мы не имеем здесь возможности приводить соответствующие результаты<sup>1</sup>. Важно лишь заметить, что очень большую роль играет порядок использования этих принципов. В ряде случаев выявляется существование иерархической системы алгоритмов, каждый из которых является алгоритмом более высокого уровня, чем предшествующий, и формирует и корректирует программу более низкого уровня. На этом пути открывается возможность выявить системы правил переработки информации, определяющие формирование второй сигнальной системы человека.

Большие перспективы открываются и в изучении структуры нервных сетей. Как известно, исследователи школы бихевиористов отрицали возможность познания внутренней структуры мозга на основании изучения и анализа формирования поведения. В исследованиях школы И. П. Павлова изучение механизмов работы мозга проводилось без учета структуры нервных сетей. Процессы иррадиации и индукции рассматривались как явление распространения возбуждения и торможения по всей массе нервных клеток коры больших полушарий без учета организации нервных элементов в системе. Между тем в настоящее время становится ясным, что такое рассмотрение не может полностью вскрыть механизмы работы мозга, так как только в сложных системах элементов возникают те новые в качественном отношении явления, которые лежат в основе сложных форм работы нервной системы.

Кибернетика открывает в этом отношении большие возможности. На основании теории нервных сетей оказывается возможным создание плодотворных гипотез, учитывающих структуру нервной системы.

Большая важность метода моделирования состоит в том, что он позволяет проверить, действительно ли данная гипотеза может объяснить то явление, которое изучается. Именно этот метод позволил обнаружить, что многие существующие в настоящее время в физиологии гипотезы не объясняют сложных форм работы мозга. В качестве примера возьмем гипотезу

---

<sup>1</sup> Они опубликованы в кн.: *С. Н. Брайнес, А. В. Напалков, В. Б. Свечинский*, *Нейрокибернетика*, М., 1962; см. также *А. В. Напалков*, *Физиологический анализ некоторых сложных форм поведения*, «Вопросы психологии» № 6, 1961.

о механизмах, лежащих в основе выработки цепей условных рефлексов. Эта гипотеза должна объяснять все факты, связанные с выработкой сложных условных рефлексов, должна объяснять, почему временная связь вырабатывается после нескольких сочетаний двух сигналов. Как известно, для объяснения этого явления используется представление о том, что более сильный очаг возбуждения притягивает возбуждение из другого, более слабого очага. Однако это объяснение недостаточно, пока не расшифрован механизм, лежащий в основе явления «притяжения» возбуждения, будь то механизм молекулярного или клеточного уровня.

В настоящее время разработана теория нервных сетей, использующая математические методы. На основании этой теории могут быть сделаны точные выводы о том, к каким именно сложным формам деятельности окажется способной та или иная структура, состоящая из нервных элементов. В свете этой теории становится очевидной необоснованность ряда созданных ранее гипотез; теория создает предпосылки для более глубокого, чем ранее, подхода к изучению мозга.

Создание современных гипотез о механизмах работы мозга приводит к разработке сложных теорий, например теории обучающихся матриц<sup>1</sup>. При разработке этих гипотез учитываются процессы иррадиации и индукции возбуждения, однако эти процессы рассматриваются в связи с определенной структурой нервных клеток (нервная сеть). Таким образом, эта теория, подтверждая основные положения учения И. П. Павлова, идет дальше, разрабатывая учение на основе идей и результатов современной науки.

### 3. Учение И. П. Павлова и нейрокибернетика

Некоторые положения нейрокибернетики близки к учению И. П. Павлова. Вместе с тем мы являемся свидетелями того, что успехи кибернетики оказались неожиданными для многих физиологов. До последнего времени существует мнение, что развитие теории нервных сетей и других разделов кибернетики не имеет отношения к изучению мозга. Создается странное положение, при котором, с одной стороны, нейрокибернетика вскрывает сложнейшие механизмы работы мозга, с другой стороны, ряд физиологов продолжают утверж-

---

<sup>1</sup> См. С. Н. Брайнес, А. В. Напалков, В. Б. Свечинский, Нейрокибернетика; К. Steinbuch, Lernende Automaten, «Electronische Rechenanlagen», Heft 3, 4, August 1959.

дать, что механизмы всех сложных форм работы мозга сводимы к принципу временной связи. Такое положение, которое, как нам кажется, тормозит развитие науки, связано с некоторыми ошибками методологического характера.

И. П. Павловым было сделано, как известно, важное открытие, состоящее в том, что были выделены тот элементарный физиологический процесс и тот простейший принцип, которые лежат в основе работы мозга (принцип условного рефлекса). Значение этого открытия можно сопоставить с выявлением основных простых элементов в современной химии. Именно выявление простых элементов позволило, как известно, от алхимии перейти к настоящей науке — химии.

И. П. Павловым, далее, был предложен метод искусственной выработки условных рефлексов, значение которого можно сопоставить со значением метода искусственного синтеза сложных химических соединений из простых веществ (как известно, этот метод оказался весьма перспективным в химии, так как синтез позволяет выявлять основные закономерности строения веществ на молекулярном уровне, составлять структурные формулы многих соединений и т. д.).

Логическим развитием идей И. П. Павлова являются работы по искусственной выработке все более сложных систем рефлексов с целью изучения тех новых явлений и закономерностей, которые возникают в этих системах. На этом пути исследователи стремятся проанализировать самые сложные формы работы мозга. И. П. Павловым и его учениками были успешно проведены некоторые такие исследования, имевшие целью выяснить физиологическую канву сложных психических процессов. Этот путь непосредственно подводит к современным идеям кибернетики.

Однако впоследствии наряду с успешным развитием идей Павлова возникли ошибочные представления, тормозившие развитие исследований высшей нервной деятельности. Как известно, И. П. Павловым было высказано правильное положение о том, что в основе всех форм работы мозга лежит принцип условного рефлекса и механизм временной связи. Это положение столь же бесспорно, как и утверждение о том, что все химические соединения состоят из атомов. Но бесспорно также и то, что, как из атомов строятся молекулы, так же из рефлексов строятся сложные системы рефлексов. Из утверждения, что в основе всех веществ лежат атомы, было бы нелепо делать вывод о ненужности изучения химии высокомолекулярных соединений, изучения закономерностей строения самих молекул. Однако именно такой ошибочный вывод был сделан некоторыми учеными при изучении мозга. На основании идеи

о сводимости работы мозга к принципу рефлекса был сделан вывод, что единственно важной проблемой физиологии является изучение механизма временной связи. Это привело к тому, что современные средства электроэнцефалографии, биохимии, гистологии, хирургические методики используются в основном для изучения механизмов одиночных рефлексов и одиночных нейронов.

Именно это ошибочное положение, как нам кажется, приводит к непониманию актуальности и важности современных идей кибернетики. В самом деле, если встать на указанную точку зрения, то становится непонятным значение тех проблем современной кибернетики, которые основаны на рассмотрении мозга как сложнейшей системы управления. Логически вытекает вывод о ненужности теории нервных сетей и исследования мозга на уровне информационных процессов. Из поля зрения исчезает общая, сформулированная И. П. Павловым задача разложить психические процессы на лежащие в их основе физиологические явления. Единственной актуальной задачей оказывается исследование механизмов временных связей.

Использование методов кибернетики уже привело к значительным результатам в изучении головного мозга. Однако среди психологов и физиологов до сих пор существует мнение о том, что нейрокибернетика еще не достигла существенных успехов в изучении нервной системы. Это ошибочное мнение. Оно связано с тем, что физиологи и психологи часто ждут от кибернетики решения тех вопросов, которые являются специфической областью современной психологии и физиологии; они ждут новых фактов о динамике нервных процессов, о локализации временных связей, ждут открытия новых законов психической деятельности. Между тем нейрокибернетика в отрыве от физиологии, психологии и других наук не может решить этих проблем. Лишь сочетание нейрокибернетических, физиологических и иных — «старых» и «новых» — методов исследования ведет к успеху. Именно такие сочетания позволяют обнаружить как эффективность нейрокибернетики, так и научную значимость полученных ею результатов.

В Постановлении ЦК КПСС и Совета Министров СССР «О мерах по дальнейшему развитию биологической науки и укреплению ее связи с практикой» указывается на важность изучения работы мозга и подчеркивается значение использования новейших биофизических методов исследования. Для реализации этих указаний большое значение имеет более широкое использование методов кибернетики.

Кибернетика возникла и развивается как наука, в которой рассмотрение биологических процессов имеет существенное значение. Суть кибернетики можно видеть в изучении сложных динамических систем или связей, в рассмотрении процессов управления этими связями для осуществления целенаправленного действия. Если принять это (по-видимому, достаточно удовлетворительное) определение, то естественно возникает вопрос, какие реальные объекты, входящие в предмет этой науки (будем называть их кибернетическими системами), существуют независимо от человеческой практики. Поиски ответа на этот вопрос приводят к выводу, что эти объекты могут быть лишь объектами биологического характера: кибернетические системы встречаются в природе в виде живых организмов, функциональных систем, входящих в состав живых организмов, в виде тех или иных объединений биологических особей и т. п.

В неживой природе встречается множество сложных систем и ситуаций, но там нет управления и целенаправленной деятельности. Поэтому можно утверждать, что в неживой природе, в той ее части, которая не зависит от деятельности человека, нет систем, являющихся специфическим объектом изучения кибернетики; что касается современной техники, машин и систем машин, сделанных людьми, то, хотя они и представляют собой неживые кибернетические системы, они, эти системы, возникли не путем естественного развития неорганической природы, а в результате практической человеческой деятельности.

С момента выделения кибернетики в самостоятельную область знания изучение кибернетических систем живой природы является главной задачей кибернетики. Когда Н. Винер

во время своего пребывания в Москве в 1960 г. был на беседе в редакции журнала «Вопросы философии», его спросили: «Какие из вопросов, стоящих перед кибернетикой, Вы считаете сейчас наиболее важными, актуальными?» Он ответил: «Прежде всего изучение самоорганизующихся систем, нелинейных систем и проблем, связанных с жизнью, как таковой. Но все это — три способа сказать одно и то же»<sup>1</sup>.

На тесную связь проблематики кибернетики с вопросами, относящимися к изучению живых систем, жизни, как таковой, постоянно указывают и советские специалисты-кибернетики, в частности А. И. Берг, А. Н. Колмогоров и А. А. Ляпунов<sup>2</sup>.

Тому, кто рассматривает предмет кибернетики независимо от проблем жизни и живой природы, обычно непонятна первая глава известной книги Н. Винера «Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине», носящая название «Ньютоновское и бергсоновское время». Почему Н. Винер, впервые выступая с изложением основ кибернетики, начинает свою книгу с рассмотрения вопроса о понимании времени И. Ньютоном и А. Бергсоном? Многим кажется, что в книге Н. Винера изложение идей собственно кибернетики начинается только со второй главы, где речь идет о группах и статистической механике, временных рядах, информации и связи, обратной связи и т. д. Однако это представление ошибочно. Н. Винер начинает свою основополагающую книгу с освещения вопроса о ньютоновском и бергсоновском времени отнюдь не случайно: ведь этот вопрос тесно связан с проблемами познания жизни, а значит, с важнейшей областью проблематики кибернетики.

В науке и философии нового времени в понимании живой природы были распространены две противоположные концепции: *механицизм* и *витализм*. Механицизм стремился объяснить жизнь законами механики; витализм же пытался показать невозможность такого объяснения, настаивая на существовании глубокой пропасти, разрыва между жизнью и неживой природой. Борьба механицизма и витализма имеет свою долгую историю, вдаваться в подробности которой здесь нет необходимости. Достаточно обратить внимание на последний ее этап,

---

<sup>1</sup> См. «Норберт Винер в редакции нашего журнала», «Вопросы философии» № 9, 1960, стр. 165.

<sup>2</sup> См. А. И. Берг, Наука величайших возможностей, «Природа» № 7, 1962; А. Н. Колмогоров, Жизнь и мышление как особые формы существования материи, «О сущности жизни», М., 1964; А. А. Ляпунов, Об управляющих системах живой природы и общем понимании жизненных процессов, «Проблемы кибернетики», вып. 10, 1963. Указанной проблематике посвящена интересная книга «Биологические аспекты кибернетики».

имевший место в нашем столетии и связанный непосредственно с возникновением кибернетики как науки.

В начале XX в. известный философ, интуитивист и идеалист А. Бергсон придумал остроумную и казавшуюся многим неопровержимой аргументацию против механицизма<sup>1</sup>. Бергсон подчеркивал, что объекты неживой природы не представляют собой организованных целостных систем. Их можно произвольно разлагать на части, составлять из них новые объекты. Эти объекты часто повторяются и благодаря этому не связаны существенно с параметром времени (все, что есть теперь, было раньше и будет в будущем); физические процессы обратимы во времени: в формулах, выражающих законы ньютоновской механики, параметр времени  $t$  можно заменить на обратную по знаку величину —  $t$ , и формулы останутся в силе; можно вообразить движение планет солнечной системы в обратную сторону, и все равно законы механики останутся теми же самыми. В отличие от этого, согласно А. Бергсону, процессы жизни в биологических организмах, и тем более общественные отношения людей, имеют принципиально иной характер: они строго направлены во времени в одну сторону — из прошлого в будущее; они эволюционируют, развиваются; всегда в жизни возникает что-нибудь новое, то, чего не было раньше, т. е. имеет место творческий процесс. Процессы жизни необратимы во времени: невозможно представить себе развитие живого организма в обратном направлении (во всяком случае биологические законы развития организма от рождения до смерти не сохраняются, если мысленно допустить обратный процесс развития организма от смерти к рождению). Поэтому А. Бергсон считал, что между закономерностями живой и неживой природы существует принципиальная разница, существенный разрыв. На этом основании он и отверг ньютоновский метафизический механицизм как несостоятельный для познания жизни и живой природы. В первой главе своей книги «Творческая эволюция» А. Бергсон писал: «Если бы наше существование складывалось из отдельных состояний... то для нас не существовало бы длительности (т. е. развития во времени. — Ш. А.)... Ибо наша длительность не является сменяющими друг друга моментами: тогда всегда было бы только настоящее, не было бы продолженности прошлого в настоящем, не было бы эволюции, не было бы конкретной длительности. Длительность — это непрерывное развитие прошлого, вбирающего в себя будущее и расширяющегося по мере движения вперед. Но если прошлое растет непрерывно, то оно и сохра-

---

<sup>1</sup> См. А. Бергсон, Творческая эволюция, М. — Спб., 1914.



няется бесконечно»<sup>1</sup>. «Из этого сохранения прошлого вытекает невозможность для сознания пройти два раза через одно и то же состояние... Вот почему существует невозвратимость... Каждый момент есть новое, прибавляющееся к тому, что было раньше. Более того, это не только новое, но и непредвиденное»<sup>2</sup>. «...Мы не понимаем, как вообще гипотеза эволюционизма может уживаться в умах с механистической концепцией жизни... Опровержение... основанное нами на рассмотрении длительности... приобретает тем более строгости и убедительности, чем смелее мы вступаем в эволюционную гипотезу»<sup>3</sup>.

Эти соображения А. Бергсона в свое время произвели немалое впечатление. Многие естествоиспытатели, знакомые с диалектическим материализмом, считали, что именно А. Бергсон нанес окончательный удар по механицизму. В этих условиях Н. Винеру и другим зачинателям кибернетики приходилось вырабатывать новую науку с учетом бергсоновской критики механицизма; им надо было занять определенную позицию по отношению к тому «объяснению» жизни, которое предложил витализм. К чести Н. Винера следует сказать, что он занял в этом вопросе враждебную идеализму, антивиталистическую позицию.

Выступая против витализма, Н. Винер вовсе не отрицает рационального смысла в представлениях А. Бергсона о необратимости процессов жизнедеятельности и творчества. Эти представления, отмечает Н. Винер, оказались полезными для правильного истолкования новейших достижений физики и техники, для перестройки методологии, базировавшейся на концепциях классической Ньютоновой физики, на новый лад, для сближения биологии с техникой, для возникновения кибернетики как науки. Ошибка Бергсона, по Винеру, не в том, что он обратил внимание на необратимость во времени процессов, протекающих в живой природе, а в том, что он из этой необратимости сделал вывод о существовании глубокого разрыва между жизнью и неживой материей, разрыва, обусловленного тем, что в неживой природе будто бы отсутствуют необратимые процессы.

В противовес витализму и ньютоновскому механицизму Н. Винер в первой главе своей книги «Кибернетика...» излагает иное понимание мира и жизни, понимание, связанное с кругом идей кибернетики. Согласно этому пониманию, живая и нежи-

---

<sup>1</sup> А. Бергсон, Творческая эволюция, стр. 4.

<sup>2</sup> Там же, стр. 5—6.

<sup>3</sup> Там же, стр. 33—34. (Разрядка моя. — Ш. А.)

вая природа составляют единство; обратимые и необратимые во времени процессы существуют в рамках этого единства; при этом мир в целом представляет собой односторонний из прошлого в будущее необратимый во времени эволюционный процесс. Необратимые эволюционные процессы существуют не только в живой, но и в неживой природе, — в этом, пожалуй, состоит наиболее важная философская идея Н. Винера.

Справедливость этой идеи Винер иллюстрирует на достаточно простых примерах. Он сопоставляет, например, наблюдаемые на небе движения звезд и планет с перемещением облаков (см. начало первой главы его книги).

Движения звезд и планет в ньютоновской небесной механике обратимы во времени в том смысле, что вполне возможно представить себе эти движения совершающимися во времени в обратном направлении, так как при этом не произойдет никаких нарушений законов природы (т. е. законов классической механики); движения же воздушных масс атмосферы необратимы: невозможно появление, например, дождя прежде дождевых облаков. Однако оба рода процессов — и движения небесных тел, и метеорологические процессы — сводятся в конечном счете к одним и тем же физическим закономерностям, которые, взятые в целом, необратимы во времени не только на Земле, но и во всем астрономическом мире. Физический мир в астрономическом масштабе подчиняется закономерностям развития во времени, подобно тому как живая природа на Земле развивается во времени. Н. Винер пишет: «...не будет слишком смелым сказать, что не только ньютоновская астрономия, но и ньютоновская физика стала... рассказом об эволюционном процессе»<sup>1</sup>. Живая и неживая природа суть различные этапы единого эволюционного процесса<sup>2</sup> физического мира.

При этом, подчеркивает Н. Винер, особенно важно, что закономерности живой природы можно описать теорией, которая применима и к неживой природе и может быть промоделирована средствами техники. «Не удивительно, — пишет Н. Винер, — что автоматы и физиологические системы можно охватить одной теорией»<sup>3</sup>.

В этом, согласно Н. Винеру, состоит в общих чертах основная идея кибернетики. Эта идея и освещена в первой главе его

---

<sup>1</sup> Н. Винер, *Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине*, стр. 55.

<sup>2</sup> Термины *эволюция*, *эволюционный процесс* употребляются в данной статье преимущественно как синонимы термина *развитие*.

<sup>3</sup> Н. Винер, *Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине*, стр. 62.

книги «Кибернетика...». Следующие главы служат раскрытием и конкретизацией этой идеи. Так, в третьей главе указано на математический аппарат, пригодный для описания бергсоновских необратимых во времени процессов.

Из этого следует, что кибернетика изучает закономерности жизни и живой природы, но в отличие от биологии изучает их более обобщенными, абстрагированными от специфики явлений жизни структурными методами, методами, пригодными для изучения и построения искусственных неживых сложных динамических систем и открывающими широкие возможности для моделирования биологических процессов на машинах. Машинное моделирование отдельных процессов жизни и мышления теперь уже не фантазия, а в значительной степени осуществленный факт.

Кибернетика дала мощную методологию для исследования структурных процессов живой природы и для технического моделирования этих процессов. Однако вопрос о том, может ли техническая модель дойти до более или менее полного совпадения с живым оригиналом, часто решается упрощенно посредством прямолинейных, механистических обобщений. Эти обобщения основаны на философски неприемлемых предположениях, именно на точке зрения ньютоновского механицизма, на взглядах метафизического и вульгарного материализма. Между тем плодотворное решение указанной проблемы возможно лишь на основе идей диалектического материализма.

\* \* \*

Ньютоновский механицизм решает упрощенно и, стало быть, неверно вопрос о соотношении живого оригинала и технической модели. Исходя из предположения, что живой организм есть в конечном счете физический механизм, представители этой точки зрения надеются, что рано или поздно средства техники позволят в полной мере его промоделировать. Головокружительные успехи техники в XX в. укрепили эти надежды механицистов.

И тем не менее вряд ли можно считать эти надежды обоснованными. Успехи современной техники огромны, но надо учитывать одну странную, парадоксальную ситуацию, совершенно необъяснимую с точки зрения механицизма. Ситуация эта состоит в следующем.

Современная техника фактически уже позволяет механизировать выполнение многих достаточно высоких функций умственной деятельности человека, а между тем с ее помощью невозможно промоделировать структуру и процесс жизнедея-

тельности даже простейшего, одноклеточного организма — одной из самых низших ступеней биологической эволюции. Если эволюция живой природы от клетки до человека и его мозга есть длительное развитие от простейших форм к сложнейшим, то не кажется ли парадоксальным тот факт, что машина, успешно моделируя такие сложные функции живого организма, как решение математических и логических задач, не способна моделировать простейшие структуры живых организмов, например клетки.

Этот парадокс решается только в том случае, если, отбросив старые концепции механицизма, а также метафизического и вульгарного материализма, в полном согласии с учением диалектического материализма различить в мозгу человека материальные, физические, в том числе химические и биологические, процессы, с одной стороны, и порожденные этими процессами, но отличные от них идеальные, психические функции, формирующие человеческое сознание: мышление, волевые процессы, эмоциональные переживания и т. п. — с другой. Материальные (физико-химико-биологические) процессы в мозгу человека носят наисложнейший характер: они продукт многотысячелетней эволюции живой природы, прогрессивно поднимавшейся по ступеням возрастающей сложности организации. Что же касается идеальных, психических функций, то порядок их сложности имеет свои особенные (отличные от физико-химико-биологических) закономерности, которые начинаются с простых связей и отношений. Уже у ребенка пробуждающееся сознание (являющееся, разумеется, продуктом сложных материальных, физиологических процессов, протекающих в головном мозгу) развивается на основе сравнительно простых закономерностей. Развитие его мышления и речи начинается с произнесения простейших предложений и осуществления простых логических операций, с выработки умений производить простейшие акты классификации, элементарные арифметические действия и т. д.<sup>1</sup> Эти навыки и простейшие логические операции, умственные действия элементарного характера усложняются в мышлении взрослого человека; последнее естественно расчленяется на более или менее простые умственные операции, логические действия и т. п. Элементарные умственные действия в мозгу человека физиологически необычайно сложны, но осознаются человеком как сравнительно простые

---

<sup>1</sup> Эта простота генетически изначальных логических структур, разумеется, относительна, и это достаточно ясно показано в книге: Ж. Пиаже и Б. Инельдер, Генезис элементарных логических структур, М., 1963.

процессы. Более того, объективно — по своему логическому содержанию — они действительно представляют собой простые процессы, так как являются отображениями наиболее общих отношений вещей. Вспомним в этой связи известные слова В. И. Ленина: «Самые обычные логические «фигуры»... суть школьно размазанные... самые обычные отношения вещей»<sup>1</sup>. Не удивительно, что они уже в настоящее время могут быть промоделированы с помощью механических и электронных машин. Этим и объясняется, что современные электронные машины — вычислительные, управляющие и информационно-логические, решая определенные задачи из области интеллектуального труда человека, вовсе не моделируют материальные (физические, химические, биологические) процессы, происходящие в мозгу во время умственной работы человека; наоборот, условием их работы как раз и является исключение всех этих сложных материальных процессов, отвлечение от них. Это позволяет непосредственно материализовать в машине только идеальные, умственные, мыслительные, сознательные функции. Чтобы автоматизировать умственную работу, машине не требуется воспроизводить результаты длинной и сложной органической эволюции от живой клетки до мозга человека; ей достаточно для этого непосредственно материализовать идеальные функции человеческого мышления и сознания. Все логические, математические и управленческие связи в идеальных процессах материально воплощаются в машине с помощью надлежащих физических — и только физических! — конструкций. Эти физические конструкции подчиняются законам физики, а не логики; однако они преднамеренно конструируются так, чтобы сохранялся их изоморфизм с логическими и математическими структурами идеального процесса человеческого мышления. Только благодаря изоморфизму физических конструкций и материальных процессов машины и идеальных процессов в мозгу возможно машинное выполнение функций умственного труда. Отсюда следуют все особенности машины, относящиеся как к ее сходству с мозгом человека, так и к различиям между ними.

Так естественно решается сформулированный выше парадокс. Обнаруживается, что осознаваемые человеком идеальные процессы в человеческом мозгу легче моделируются на машине, нежели лежащие в основе идеального физические, химические, биологические и иные процессы<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 29, стр. 159.

<sup>2</sup> А. Н. Колмогоров пишет: «Вообще вся сознательная жизнь человека устроена как-то очень своеобразно и сложно, но, когда закономерности будут изучены, для моделирования их потребуется гораздо

Такое решение указанного парадокса выдвигает новые философские проблемы. Важнейшей из них, по-видимому, является следующая: раскрыть на материалистической основе содержание жизни как единства противоположных сторон — идеальной и материальной. Необходимо признать, что идеальное в мозгу имеет собственные закономерности, отличные от закономерностей физико-химико-биологического характера. Вместе с тем оно не имеет самостоятельного физического существования, поскольку его наличие всецело зависит от особой динамической организации физиологической системы мозга. Характер закономерностей идеального в конечном счете определяется отображаемой в нем действительностью: законы логического мышления суть отображения наиболее общих законов объективной реальности.

Это понимание человеческого мозга и жизни несовместимо как с идеалистическим мировоззрением (поскольку, во-первых, существование идеального ставится в прямую зависимость от материальной системы мозга, а, во-вторых, само идеальное рассматривается как отображение материального), так и, что особенно важно, со всеми видами старого, домарковского материализма и с механистическим мировоззрением. Все виды старого материализма и механицизма при решении основного вопроса философии исходили из предположения, что процессы, которые обычно относят к идеальным, просто совпадают с физическими процессами мозга. Представители механицизма были убеждены в том, что достаточно воспроизвести в машине эти физические процессы, чтобы получить воспроизведение всех идеальных функций сознания и мышления<sup>1</sup>. Однако это предположение опровергается тем фактом, что идеальное, хотя оно и существует на базе физиологических, химических, электронных и иных материальных процессов, происходящих в мозгу, вовсе не является какой-то копией этих процессов.

Идеальное является отображением познаваемой с помощью мозга реальной действительности. Это отображение возникает и развивается на основе трудовой, производственной деятельности общественного человека. Законы отображения складываются в процессе общественно-исторической практики, о чем так выразительно сказал В. И. Ленин: «ПРАКТИЧЕСКАЯ ДЕЯ-

---

меньше элементарных ячеек, чем для моделирования всего мозга, как это ни удивительно» (А. Н. Колмогоров, Автоматы и жизнь, «Возможное и невозможное в кибернетике», стр. 20).

<sup>1</sup> Отзвуки подобного механистического предположения о совпадении идеального с материальным встречаются в работах даже крупнейших специалистов в области кибернетики. См., например, Н. Винер, Кибернетика и общество, стр. 110—111; У. Р. Эшби, Конструкция мозга.

**ТЕЛЬНОСТЬ ЧЕЛОВЕКА МИЛЛИАРДЫ РАЗ ДОЛЖНА БЫЛА ПРИВОДИТЬ СОЗНАНИЕ ЧЕЛОВЕКА К ПОВТОРЕНИЮ РАЗНЫХ ЛОГИЧЕСКИХ ФИГУР, ДА БЫ ЭТИ ФИГУРЫ МОГЛИ ПОЛУЧИТЬ ЗНАЧЕНИЕ А К С И О М»<sup>1</sup>.**

Человек, например, логически рассуждает, производит арифметические операции, разрабатывает планы своей деятельности и т. д. Однако законы мышления не совпадают с законами тех физических (химических, биологических и иных) процессов, которые происходят в это время в его мозгу. Идеальные функции в мозгу человека существуют, по-видимому, как нечто подобное зеркальным отображениям при материальных процессах. Специфику идеальной функции мозга можно пояснить с помощью следующей аналогии.

Обычное зеркало с точки зрения физической — это стекло, покрытое с одной стороны амальгамой. Однако, если взглянуть на ту сторону этого стекла, которая противоположна его амальгамированной стороне, мы увидим целый мир вещей, не существующих в самом стекле. Эти вещи в зеркале реально не существуют: они суть прямые отображения вещей, находящихся перед зеркалом. Ребенок, не имеющий опыта обращения с зеркалом, будет искать эти вещи позади него или разобьет зеркало, чтобы добраться до видимых в нем вещей. Зеркало же, раздробленное на мелкие куски, уже не есть зеркало: все вещи, которые были в нем видимы, исчезли бесследно. Нечто подобное, конечно в неизмеримо более сложной форме, мы находим и в рассматриваемом нами случае. Никакой физиологический анализ нервных клеток мозга человека не даст нам возможности обнаружить идеальный мир внутренней жизни человека. Человек с одним и тем же по сути дела мозгом может на разных этапах развития личности иметь весьма различный идеальный мир. Духовный мир отдельных людей может чрезвычайно сильно различаться, и это при большом сходстве в физиологической структуре их мозга и характере процессов, протекающих в их нервной системе. Этот идеальный мир внутренней духовной жизни человека существует в виде системы образов, запечатленных в его мозгу благодаря опыту личной и общественной жизни начиная со дня рождения.

Возникает вопрос, образуется ли в технической модели, достаточно полно моделирующей материальные процессы, происходящие в мозгу, идеальный мир жизни человека с его сознанием, волей и т. д. сам по себе? Мы полагаем, что для утвердительного ответа на этот вопрос нет достаточных оснований; во всяком случае такие основания нам не известны.

---

<sup>1</sup> В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 29, стр. 172.

Если учитывать современные тенденции развития кибернетики и тот факт, что в применении к мозгу человека следует различать строго физические процессы и идеальные функции мозга, то станет ясным следующий фундаментальный факт. Кибернетика и кибернетическая техника фактически развиваются не по одной общей линии, а по двум различным, хотя и тесно связанным друг с другом, направлениям. С одной стороны, кибернетика осваивает и технически моделирует чисто идеальные функции умственного труда человека; с другой стороны, она осваивает и технически моделирует физико-биологические функции нервной системы (систем нейронов и отдельных нейронов). Эти два направления развития кибернетической техники выражают идеальную (отражательную) и материальную (относящуюся к физиологии) стороны работы мозга. Взаимосвязь этих сторон работы мозга открывает большие возможности в овладении закономерностями высшей нервной деятельности и сознания с помощью науки и техники. При этом не следует забывать, что единство этих сторон мозга не есть их тождество и что осуществляемая средствами техники модель нервной системы не совпадает с выполненной посредством аналогичных средств моделью идеальных процессов сознания, с моделью логических, математических и других процессов умственного труда. Поэтому техническую модель человеческого мозга вряд ли целесообразно представлять себе в виде одной гигантской машины. Практика кибернетики показывает, что идти приходится фактически по линии разработки машин двух различных типов, одни из которых моделируют преимущественно идеальные (главным образом формально-логические), а другие — преимущественно материальные (нейрофизиологические) стороны работы мозга. Машины одного типа на доступном для них «языке» выражают нервные процессы и лежащие в их основе физико-химические явления, а машины другого типа — идеальные функции сознания, мышления человека с его разнообразными логическими, математическими и другими способностями.

Попробуем теперь ответить на вопрос о том, сможет ли развитие кибернетического моделирования привести к тому, что у этой «раздвоенной» модели мозга, т. е. у пары машин, из которых одна моделирует физическую, а другая — психическую (отражательную) сторону работы мозга, появится сознание. Относительно модели физических процессов мозга представляется очевидным, что, поскольку даже физические процессы, происходящие в мозгу человека, сами по себе не содержат сознания, не будет иметь сознание и моделирующая эти процессы машина. Машина второго типа, т. е. машина,



моделирующая идеальные функции мозга, состоит опять-таки из физических процессов и ничего идеального не содержит, хотя и является моделью идеального. Но если физический процесс сам по себе не является сознанием, даже если он происходит в мозгу человека, то как он может стать сознанием в машине? Свойство сознания есть свойство отражательной деятельности мозга человека, имеющее социальную природу. Лишенная этой природы машина не может обладать свойством сознания.

Таким образом, формулируемое в рамках диалектико-материалистического решения основного вопроса философии различие между идеальным и материальным имеет важнейшее значение для обоснования отрицательного ответа на вопрос, может ли машина мыслить. Идеальное и материальное различаются, противоплагаются — и в то же время составляют единство — только в мозгу человека как социального существа, а в машине и идеальное, и материальное моделируется только в материальной и, стало быть, в бессознательной структуре.

Различие между материальным и идеальным уже нашло отражение непосредственно в концепциях самой кибернетики, в частности в тех из них, которые группируются вокруг понятия *информации*. В кибернетике различается содержание информации и ее физический носитель. Эти две стороны информации, взятые вместе, составляют сигнал. Содержание информации не связано с ее физическим носителем и может передаваться с помощью совершенно различных по характеру физических процессов. Содержание информации обладает рядом характерных черт «идеального бытия». В самом деле, содержание (смысл) информации не имеет самостоятельного физического существования; оно всегда закодировано в каком-нибудь физическом сигнале; и все же содержание информации существует как некоторый абстрактный объект, отличный от своего физического носителя, подчиняется своим собственным законам и эффективно участвует в процессах природы. Таким образом, кибернетика, и в частности теория информации, уже давно практически имеет дело с некоторыми аналогами идеального и материального в применении к работе современных машин. Конечно, различие между содержанием информации и ее физическим носителем есть только отражение различия между идеальным и материальным, о котором шла речь выше. Не было бы человека, обладающего сознанием, не было бы и машин, принимающих и перерабатывающих сигналы, содержащие информацию. Только люди способны осознать содержание этой информации. Обладающий сознанием общественный человек создает все

более сложные материальные системы, в том числе и такие, в которых реализуются некоторые идеальные объекты (такие, например, как содержание информации), обладающие рядом черт сходства с психическим идеальным — мышлением и самосознанием.

Сказанное не означает выдвижения каких-либо ограниченных развития кибернетики и кибернетических машин. Наша цель — лишь указать на несостоятельность старых механистических представлений о том, что мышление есть будто бы такой формальный механизм или процесс, который совпадает с материальными, физиологическими механизмами и процессами, совершающимися в головном мозгу человека, и что техническая модель материальных процессов, имеющих место в мозгу человека, будто бы достаточна для воспроизведения жизни, сознания и мышления человека в машине. Наилучшие аргументы против такого рода взглядов дает сама кибернетика, которая давно поставила вопрос о различении идеального и материального. Именно развитие кибернетики делает таким актуальным методологический принцип учитывать роль идеального в материальных процессах. Прогресс науки о сложных динамических системах, к числу которых прежде всего относятся живые системы, ставит перед философами-специалистами по кибернетике, а также перед учеными-биологами и специалистами других областей знания задачу конкретной разработки на диалектико-материалистической основе проблемы единства, различия и взаимодействия идеального и материального в живой природе и общественном человеке.

Одной из ведущих методологических проблем кибернетики в применении к биологическим процессам является проблема моделирования функций, специфических для живого организма. При изучении живой системы возникает вопрос, решение которого имеет принципиальное философское значение: любые ли функции живого поддаются моделированию? В настоящей работе эта проблема рассматривается в рамках термодинамики открытых систем. Сознвая, что такой подход к явлениям живой природы отнюдь не является универсальным, мы полагаем, однако, что он имеет существенное значение при рассмотрении общетеоретических и методологических проблем живой природы. Как будет показано в данном исследовании, функции живого, отражающие явления биологического развития, принципиально не могут быть моделированы в виде физической (материальной) модели в рамках термодинамики открытых систем.

Термодинамика живого зиждется в значительной степени на интерпретации двух крайних явлений биологической эволюции в их энергетическом и энтропийном аспектах. Эти два явления, представляющие собой весьма различные процессы развития живой материи, не могут быть объяснены на основе законов неживой природы. Одно из этих явлений — фаза эмбриогенеза наиболее высоко развитого организма, т. е. теплокровного животного. В течение эмбриогенеза живая материя подвергается непрерывной морфологической и функциональной дифференциации. Эмбриональное развитие теплокровного животного, начиная с оплодотворения яйцеклетки и кончая рождением многоорганного, мультифункционального организма, является как бы чрезвычайно укороченным повторением всей предыдущей эволюции животного мира. Второе явле-

ние — это процесс адаптации высокоспециализированной клетки, а именно безъядерного эритроцита млекопитающих. Безъядерный эритроцит обладает чрезвычайно низким обменом веществ и выполняет в основном только одну физиологическую функцию — поглощение и передачу кислорода. После рождения теплокровного животного в организме происходит ряд адаптационных процессов, и в том числе адаптация красных кровяных шариков к новым условиям функционирования.

Изучение этих двух явлений биологической эволюции — эмбриогенеза теплокровного животного и процесса адаптации безъядерного эритроцита — в их энергетическом и энтропийном аспектах дало возможность сформулировать основные уравнения термодинамики живой системы.

\* \* \*

В термодинамике открытых систем Пригожиным была установлена теорема, аналогичная известному принципу Ле Шателье — Брауна в термодинамике закрытых систем. Теорема Пригожина, как и принцип Ле Шателье — Брауна, указывает направление эволюции термодинамической системы. Смысл ее состоит в следующем: изменение открытой системы во времени происходит всегда таким образом, что производство энтропии уменьшается в ходе эволюции открытой системы. С феноменологической точки зрения живой организм представляет собой термодинамически открытую систему, которая непрерывно превращает потенциальную, химическую энергию пищи в энергию рабочих процессов и непрерывно выделяет энергию в виде теплового потока во внешнюю среду.

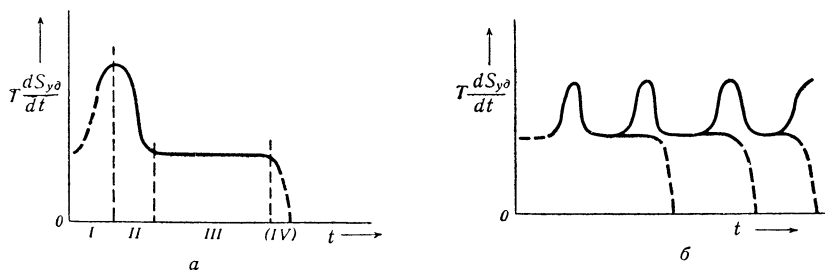


Рис. 1.

Жизнь теплокровного животного, представленная в термодинамическом аспекте, делится на три последовательные фазы: эмбриогенез, рост и существование взрослой особи. На рис. 1а все три фазы онтогенеза теплокровного животного представ-

лены в виде функции удельного производства энтропии, зависящей от времени  $t$ . Отрезок I обозначает фазу эмбрионального развития, начиная с момента оплодотворения яйцеклетки и кончая рождением дифференцированного организма; отрезок II обозначает фазу постнатального роста (т. е. роста от момента рождения животного до оформления взрослой особи); отрезок III обозначает фазу существования взрослой особи. Отрезок (IV) представляет собой переходное состояние от живого к мертвому, агональную фазу деградации организма, в течение которой тепловой поток (величина  $T \frac{dS_{уд}}{dt}$ )<sup>1</sup> резко падает и доходит до нуля: мертвое тело не производит энтропии и само становится системой с максимальной энтропией.

Как видно из рис. 1а, теорема Пригожина

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{dS}{dt} \right) \leq 0 \quad (1)$$

имеет силу только для фазы роста и для фазы стационарного существования взрослой особи; она не имеет силы для фазы эмбриогенеза. В фазе эмбриогенеза, когда происходят процессы дифференциации живой материи, имеет место непрерывное нарастание удельного производства энтропии. Этот эффект — нарастание удельного производства энтропии в эмбриогенезе — следует также из соображения о непрерывности живой материи, переходящей в виде нескончаемой цепи из материнского в дочерний организм (как это схематически показано на рис. 1б).

Эмбриональное развитие наиболее высоко развитого организма — теплокровного животного — отражает последовательные стадии эволюции и является как бы зеркалом, фокусирующим все филогенетическое развитие предыдущих видов. Неприменимость теоремы Пригожина к фазе эмбриогенеза свидетельствует, следовательно, и о том, что эта теорема не может быть использована в качестве показателя направления биологической эволюции в филогенетическом аспекте<sup>2</sup>.

\* \* \*

Биологическая эволюция представляет собой генетически закрепленный процесс развития организмов, заключающийся в появлении все более сложных видов. Механизм усложнения

<sup>1</sup> Здесь  $S_{уд}$  — удельная энтропия, т. е. энтропия, деленная на массу живой материи;  $T$  — температура;  $t$  — время.

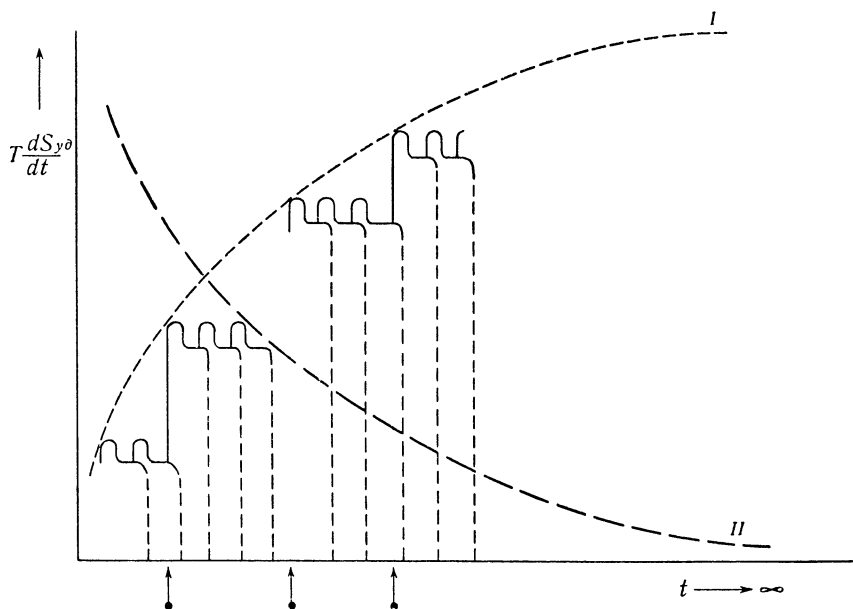
<sup>2</sup> См. более подробно об этом К. С. Тринчер, К вопросу о применимости теоремы Пригожина в биологии, «Биофизика», т. VI, 1961, стр. 750.

организма можно видеть в степени его дифференциации в морфологическом и функциональном отношениях, включая функции интеллекта. Ч. Дарвин считал, что процесс развития организмов происходит путем естественного отбора полезных «вариаций». В современном понимании эволюция происходит в результате положительных для вида генных мутаций. Свойства, которые возникли в результате генных мутаций и которые являются благоприятными для данного вида в борьбе за существование, сохраняются, и численность особей такого вида увеличивается. В цепи последующих поколений вида, возникшего на основе положительных генных мутаций, могут снова появляться положительные генные мутации, в результате чего образуются ступени биологической эволюции. Неблагоприятные генные мутации, напротив, приводят к уменьшению численности популяций, и через ряд поколений, все более ослабленных в борьбе за существование, численность особей вида все более и более сокращается и вид исчезает.

В фазе эмбриогенеза высокоразвитого теплокровного животного происходит возрастание скорости возникновения удельной энтропии. Это общее явление, характеризующее состояние живой материи на той фазе развития, когда происходит ее морфо-функциональная дифференциация. Это явление было обнаружено как на уровне многоклеточного, так и на уровне одноклеточного организмов. В так называемой лаг-фазе бактериальной клетки, которая может быть уподоблена фазе эмбриогенеза многоклеточного организма, также происходит возрастание скорости возникновения энтропии, рассчитанной на одну клетку.

Поскольку процессы дифференциации живой материи в фазе эмбриогенеза отражают филогенетические процессы, можно заключить, что процессы морфо-функциональной дифференциации в ходе прогрессирующей эволюции животного мира происходят также с возрастанием скорости возникновения удельной энтропии. На рис. 2 огибающая кривая I изображает возрастание скорости возникновения удельной энтропии живой материи со временем в течение филогенеза. Вертикальные стрелки показывают на оси времени те моменты мегаэволюции, когда происходили положительные генные мутации у особей разных последующих видов. Эволюция живой системы, выраженная через величину скорости возникновения удельной энтропии, имеет противоположный характер по сравнению с эволюцией термодинамически открытой неживой системы, которая подчиняется теореме Пригожина (рис. 2, кривая II). Кривая I, иллюстрирующая возрастание скорости возникновения удельной энтропии живой материи, может быть

представлена в виде некоторой возрастающей функции от времени. Можно полагать на основе общих физических положений, что динамическая структура вселенной построена таким образом, что скорость любого процесса, связанного с движением материи, лимитируется некоторой предельной величиной.



Р и с. 2.

Скорость возникновения удельной энтропии как функции от времени может быть выражена в виде следующего уравнения:

$$\frac{dS_{уд}}{dt} = \left( \frac{dS_{уд}}{dt} \right)_{\text{макс}} \cdot (1 - e^{-\frac{t}{\tau}}), \quad (2)$$

где  $\tau$  — некоторая биологическая единица времени, например время одного цикла клеточного деления или время жизни одной клетки.

В отличие от событий в неживой природе, где время как нечто непрерывное «никогда не несет с собой собственной меры»<sup>1</sup>, в биологических процессах время имеет собственную меру и эволюционную направленность, которые определяются

<sup>1</sup> М. Лауэ, История физики, М., 1956, стр. 14.

самими живыми объектами. С точки зрения термодинамики живой объект рассматривается как макроскопическая система, которая как целое эволюционирует во времени. С этой позиции нельзя подойти к анализу биологической эволюции на основе молекулярных процессов, для которых время не имеет направленности и не может быть эволюционным фактором. Эта мысль о времени как физическом факторе, имеющем эволюционное значение только для макросистем, была четко высказана Рейхенбахом: «Время представляется всецело макроскопическим явлением, которое нельзя приписывать явлению микрокосма»<sup>1</sup>.

Жизнь клетки протекает в виде циклов клеточного деления с индивидуальной продолжительностью цикла  $\tau$ . Одновременно жизнь клетки протекает как необратимый процесс с однозначной направленностью времени:  $t \rightarrow \infty$ . Продолжительность митотического цикла является чрезвычайно малой величиной по сравнению с продолжительностью биологической эволюции, т. е. всегда имеет место  $t \gg \tau$ , каковы бы ни были индивидуальные различия в продолжительности жизни различных клеток.

Состояние неживой системы характеризуется функцией энтропии, которая, согласно закону Больцмана, определяется следующим уравнением:

$$S = k \ln W, \quad (3)$$

где  $k$  — постоянная Больцмана;  $W$  — термодинамическая вероятность неживой системы. Охарактеризуем теперь состояние живой системы функцией негэнтропии, которая по своему содержанию имеет противоположный смысл, нежели энтропия, указывая на степень упорядоченности живой системы. Функцию негэнтропии можно определить уравнением, которое формально подобно уравнению Больцмана, но имеет иное физическое содержание: эта функция указывает на противоположную тенденцию развития живой системы по сравнению с развитием неживой системы. Эта противоположность по отношению к уравнению Больцмана выражается следующим образом:

$$S_{\text{уд, нег}} = -k \ln W_{\text{биол}} = k \ln \frac{1}{W_{\text{биол}}}, \quad (4)$$

где  $S_{\text{уд, нег}}$  — удельная негэнтропия живой системы;  $W_{\text{биол}}$  — термодинамическая вероятность живой системы, которая входит в уравнение в виде множителя  $\ln \frac{1}{W_{\text{биол}}}$ , сопряженного с постоянной Больцмана  $k$ .

<sup>1</sup> Г. Рейхенбах, Направление времени, М., 1962, стр. 357.



В то время как термодинамическая вероятность неживой системы  $W$  растет со временем, указывая на возрастание хаотичности структуры или на потерю структурности неживой системы, термодинамическая вероятность живой системы  $W_{\text{биол}}$  в чисто феноменологическом аспекте уменьшается со временем; величина  $\frac{1}{W_{\text{биол}}}$  возрастает со временем, что указывает на возрастающую упорядоченность структуры живой системы в ходе биологической эволюции; негэнтропия живой системы увеличивается. Определение функции негэнтропии, данное уравнением (4), означает, что элементы, составляющие живую систему, стремятся к такому распределению, которое соответствует все более упорядоченному состоянию живой системы.

Производство энтропии в окружающей живую систему среде равно в количественном отношении производству негэнтропии внутри живой системы. Организм создает внутри себя негэнтропию, потребляя энергию, и создает вне себя энтропию, выделяя тепло.

Теперь, пользуясь уравнением (4), выразим производство негэнтропии живой системы

$$\frac{dS_{\text{уд, нег}}}{dt} = -k \frac{d \ln W_{\text{биол}}}{dt}. \quad (5)$$

Сопоставляя уравнения (2), (3), (4), (5), получим после интегрирования следующее уравнение:

$$W_{\text{биол}}(t) \simeq e^{\frac{S}{k} - \frac{1}{k} \left( \frac{dS_{\text{уд}}}{dt} \right)_{\text{макс}} \cdot (t - t_0)}. \quad (6)$$

Результат, выраженный уравнением (6), может быть сформулирован как термодинамическая теорема биологической эволюции. Смысл этой теоремы следующий: биологическая эволюция стремится к уменьшению энтропии первоначального состояния системы в добиологической эре ( $t = t_0$ ), т. е. биологическая эволюция, протекающая во времени, стремится к состоянию минимальной термодинамической вероятности, когда время стремится к бесконечности. Для живой системы параметр времени имеет значение эволюционного фактора. Живая система, как только она возникла, находится в «поток эволюции», который не имеет конца.

\* \* \*

Организм обладает упорядоченной динамической структурой, сохранение которой связано с расходом энергии. С термодинамической точки зрения неравновесная структура

живого определяется функцией негэнтропии. Наличие упорядоченности структуры живого обусловлено его информационным содержанием  $I^1$ , которое в стационарных условиях существования организма является, очевидно, постоянной величиной. В условиях биологической эволюции и адаптации информационное содержание представляет собой нарастающую функцию от времени

$$\frac{d}{dt} I(t) > 0. \quad (7)$$

Возникает вопрос о связи между негэнтропией и информационным содержанием организма в процессе адаптации

$$S_{\text{нег}}(t) \sim I(t), \quad (8)$$

где  $t$  — время адаптации.  
По определению

$$S_{\text{нег}} = -S,$$

т. е. негэнтропия имеет противоположный физический смысл, чем энтропия. Согласно закону Больцмана (уравнение (3)), энтропия изолированной замкнутой системы нарастает со временем, так как термодинамическая вероятность  $W$  увеличивается со временем

$$\frac{d}{dt} W(t) > 0. \quad (9)$$

Функции  $I(t)$  и  $W(t)$  имеют противоположный физический смысл точно так же, как функции негэнтропии и энтропии.  $I(t)$  выражает тенденцию эволюции термодинамически открытой живой системы ко все более упорядоченному состоянию, которое противоположно термическому хаосу;  $W(t)$  выражает тенденцию эволюции термодинамически замкнутой (изолированной) неживой системы ко все более хаотическому состоянию. На основе уравнений (7), (8), (9) можно сформулировать закон, который формально подобен, но по своему физическому смыслу не тождествен закону Больцмана

$$S_{\text{нег}}(t) = K \ln I(t), \quad (10)$$

где  $K$  — постоянная, которая подлежит определению. Постоянная  $K$ , занимающая в уравнении (10) такое же место, как постоянная  $k$  в уравнении Больцмана, имеет такую же размерность,

---

<sup>1</sup> Смысл этой величины будет разъяснен ниже.

как и  $k$ : энергия, умноженная на  $T^{-1}$ . Физический смысл постоянной Больцмана определяется уравнением

$$k = \frac{R}{N}, \quad (11)$$

где  $R$  — газовая постоянная;  $N$  — число Авогадро; иначе говоря,  $k$  является приведенной энергией одной молекулы. Эта энергия отдельной молекулы появляется при осуществлении флуктуационных процессов. Из постоянства энергии макросистемы во времени  $E_{t+\Delta t} = E_t$  и из уравнения  $F = E - TS$ , где  $F$  — свободная энергия, следует, что

$$S_{t+\Delta t} - S_t = \frac{F_t - F_{t+\Delta t}}{T} = -\frac{A_{\min}}{T}, \quad (12)$$

где  $A_{\min}$  — та минимальная внешняя работа, которую при данной температуре необходимо выполнить над газом, чтобы получить обратимое изменение флуктуации без изменения энтропии. Из определения постоянной  $k$  как приведенной энергии одной молекулы, которая появляется при выполнении внешней работы газа на основе флуктуационных процессов, можно определить постоянную  $K$ , имеющую физически противоположный смысл. Постоянная  $K$  представляет собой приведенную энергию «внутренней» работы единичной живой системы; эта работа противодействует флуктуационному разрушению упорядоченной, термодинамически неравновесной, термолabileй структуры живой системы

$$KT = A_{\min i}, \quad (13)$$

где  $A_{\min i}$  — минимальная внутренняя (антифлуктуационная) работа живой системы, обеспечивающая термическую устойчивость при температуре жизнедеятельности организма. Используя уравнения (10) и (13), получаем

$$S_{\text{пер}}(t) = \frac{A_{\min i}}{T} \ln I(t). \quad (14)$$

Согласно уравнению (14), существует логарифмическая зависимость между упорядоченной термодинамически неравновесной структурой живой системы, которая определяется функцией  $S_{\text{пер}}(t)$ , и информационным содержанием  $I(t)$ , которое приобретает организм в течение адаптационного периода.

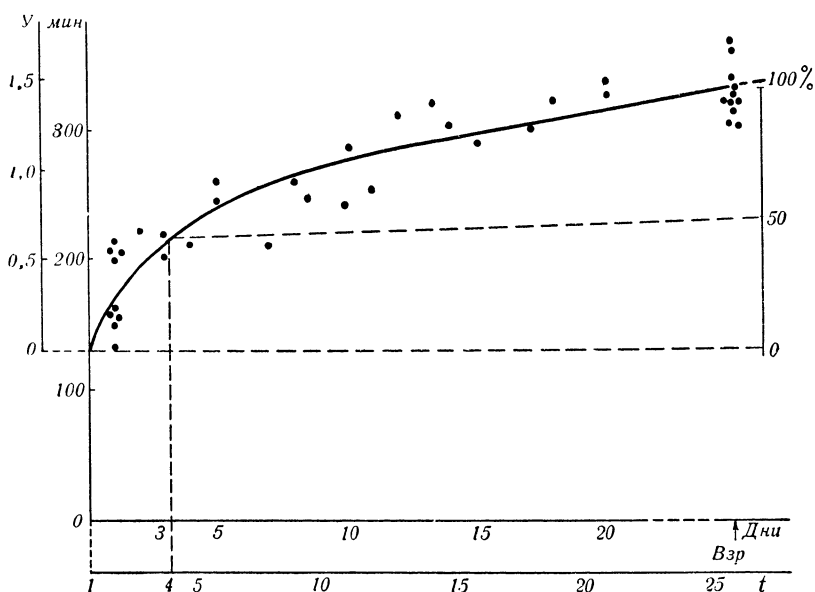
Уравнение (14) отражает закон биологической адаптации<sup>1</sup>. Если известен индикатор структуры  $y$  адаптирующего орга-

<sup>1</sup> См. *К. С. Тринчер*, Закон биологической адаптации, «Доклады АН СССР», т. 149, № 3, 1963, стр. 717.

низма, то, согласно уравнению (14), существует следующая зависимость между индикатором структуры  $y$  и временем адаптации  $t$ :

$$y = \ln t. \quad (15)$$

Уравнение (15) может быть экспериментально проверено. Индикатором приспособления теплкровного организма к новым условиям существования сразу же после рождения животного служило в наших опытах изменение свойств крови. Адаптация эритроцитов к новым условиям функционирования после рождения животного заключается в замене фетального гемоглобина Hb-F гемоглобином взрослого животного Hb-A. В те-



Р и с. 3.

Взр. — взрослое животное; по оси ординат отложено время наступления гемолиза эритроцитов под действием щелочной среды ( $pH \sim 9,97$ ); по оси абсцисс — дни после рождения

чение адаптационного процесса эритроциты приобретают новое структурное свойство, что обнаруживается в повышении их устойчивости к денатурационному действию щелочи (см. рис. 3). Зависимость этого структурного свойства, обозначенного в наших опытах символом  $y$ , от времени адаптации  $t$

описывается, согласно полученным данным, уравнением (15), которое соответствует закону биологической адаптации<sup>1</sup>.

Закон биологической адаптации и закон Больцмана определяют структуру термодинамической системы как функцию, зависящую от времени. Эволюция структуры неживой системы пропорциональна логарифму термодинамической вероятности. Эволюция структуры живой системы пропорциональна логарифму информации.

\* \* \*

Рассмотрим возрастание информации живой системы в ходе биологической эволюции. Как было показано выше, скорость возникновения удельной энтропии как функция от времени биологической эволюции может быть выражена уравнением (2). Выразим теперь скорость возникновения удельной негэнтропии как функцию информационного содержания живой системы. Из закона биологической адаптации (14) следует, что

$$\frac{dS_{\text{уд. нег}}(t)}{dt} = \frac{A_{\text{мини}}}{T} \frac{d \ln I_{\text{уд}}(t)}{dt}, \quad (16)$$

где  $\frac{dS_{\text{уд. нег}}(t)}{dt}$  — скорость возникновения удельной негэнтропии в живой системе;  $I_{\text{уд}}(t)$  — удельная информация, т. е. информационное содержание живой системы, рассчитанное на единицу живой материи. Из сопоставления уравнений (2), (14) и (16) после интегрирования получим

$$I_{\text{уд}}(t) \simeq e^{\frac{T}{A_{\text{мини}}} \cdot \left( \frac{dS_{\text{уд}}}{dt} \right)_{\text{макс}} \cdot (t - t_0) - \frac{S}{k}}, \quad (17)$$

где  $S$  — энтропия системы до начала биологической эволюции  $t = t_0$ .

Результат, выраженный уравнением (17), может быть сформулирован как закон накопления информации живой системой в ходе биологической эволюции. Информационное содержание живой системы, характеризующее упорядоченность структуры, беспредельно возрастает со временем, и, напротив, термодинамическая вероятность, характеризующая степень хаотичности системы, беспредельно уменьшается в живой системе в ходе биологической эволюции (см. уравнение (6)).

<sup>1</sup> См. К. С. Тринчер и Э. И. Гинцбург, Адаптационное изменение гемоглобина в онтогенезе, «Физиологический журнал СССР», т. XIX, № 5, 1963, стр. 621.

Закон накопления информации и термодинамическая теорема биологической эволюции описывают взаимно обратные функции времени. Оба выражения, характеризующие эволюцию живой системы, могут быть интерпретированы следующим образом: живая система стремится в ходе биологической эволюции к беспредельному накоплению своего информационного содержания или к максимальному уменьшению своей первоначальной (дозволюционной) термодинамической вероятности.

\* \* \*

Наиболее существенным источником новой информации, необходимой для продолжения жизни клетки, является процесс копуляции двух клеток (слияние клеток). В результате этого процесса информационное содержание дочерней клетки оказывается большим по сравнению с информационным содержанием материнской клетки. Пусть негэнтропии двух клеток  $m$  и  $n$  к моменту копуляции равны

$$S_{\text{нег } m} = \frac{A_{\text{мини}}}{T} \ln I_m \quad \text{и} \quad S_{\text{нег } n} = \frac{A_{\text{мини}}}{T} \ln I_n. \quad (18)$$

Негэнтропия дочерней клетки в момент после деления материнской клетки равна

$$S_{\text{нег } (m \times n)} = \frac{1}{2} \frac{A_{\text{мини}}}{T} \ln [I_m \cdot I_n \cdot I_{\text{коп}}], \quad (19)$$

где  $I_{\text{коп}}$  — информация, возникшая в процессе копуляции.

Этот результат — увеличение негэнтропии клетки или возникновение информации в результате процесса копуляции двух клеток и последующего их разделения — может быть распространен на любые адекватные воздействия на клетку, т. е. на такие воздействия, на которые живая система реагирует повышением своих энергетических затрат. Это положение может быть выражено в виде следующих двух уравнений:

$$\left[ \frac{\Delta(TS_{\text{нег}})}{\Delta t} \right]_{\text{осн}} = \frac{\Delta(A_{\text{мини}} \cdot \ln I_{\text{осн}})}{\Delta t} = A_{\text{осн}} \quad (20)$$

и

$$\frac{\Delta(TS_{\text{нег}})}{\Delta t} = \frac{\Delta(A_{\text{мини}} \cdot \ln [I_{\text{осн}} \cdot I_{\text{ε}}])}{\Delta t} = A_{\text{осн}} + A_{\text{ε}}, \quad (21)$$

где  $\left[ \frac{\Delta(TS_{\text{нег}})}{\Delta t} \right]_{\text{осн}}$  — минимальный расход энергии организмом в течение некоторого промежутка времени  $\Delta t$ , или основной обмен организма, выраженный символом  $A_{\text{осн}}$  (энергия основ-

ного обмена непрерывно расходуется организмом для внутренних рабочих процессов, связанных с сохранением термодинамической структуры живой материи при температуре жизнедеятельности организма);  $I_{\text{осн}}$  — информационное содержание организма, соответствующее основному обмену;  $\frac{\Delta(TS_{\text{нер}})}{\Delta t}$  — расход энергии организмом в течение времени  $\Delta t$ , связанный и с основным обменом  $A_{\text{осн}}$ , и с выполнением каких-либо внешних рабочих процессов, выраженных символом  $A_{\text{э}}$ ;  $I_{\text{э}}$  — информационное содержание организма, обуславливающее выполнение рабочих процессов.

Если сравнивать основной обмен организма  $A_{\text{осн}}$  и энергетический обмен организма при выполнении внешних рабочих процессов  $A_{\text{осн}} + A_{\text{э}}$  у животных с разной степенью адаптации и эволюции, то оказывается, что затраты энергии для основного обмена падают в ходе адаптации и эволюции, в то время как затраты энергии для дополнительных рабочих процессов  $A_{\text{э}}$  увеличиваются. Эта замечательная способность организма увеличивать свое информационное содержание в ходе адаптации и эволюции и тем самым увеличивать свои возможности выполнять все более интенсивные «внешние» рабочие процессы при одновременном снижении затрат энергии для основного обмена является одним из отличительных свойств «живой» машины, которая в отличие от неживой машины способна к адаптации и эволюции.

Мощность живой системы в условиях стационарности существования состоит, согласно уравнению (21), из двух величин: мощности основного обмена  $A_{\text{осн}}$  и дополнительной мощности  $A_{\text{э}}$ , которая связана с выполнением «внешних» рабочих процессов организмом. Выражение (21) имеет общий характер: оно отражает энергетический режим не только «живой» машины, но и любой машины или действующего механизма. Для машины уравнение (21) имеет вид

$$\frac{dU}{dt} = A_i + A_e,$$

где  $\frac{dU}{dt}$  — расход потенциальной энергии какого-либо источника энергии;  $A_i$  — мощность рабочего процесса, который надо осуществить, чтобы восстановить структуру машины, которая износилась в ходе ее работы;  $A_e$  — мощность «внешних» рабочих процессов, специфических для данной машины. Энергия, которая расходуется для восстановления структуры машины или восстановления ее информационного содержания  $A_i$ , соответствует в организме мощности его основного обмена  $A_{\text{осн}}$ ,

а энергия, которая расходуется для специфических «внешних» рабочих процессов машины  $A_e$ , соответствует величине  $A_e$  живой системы. Эти соотношения между организмом и машиной могут быть представлены в виде следующей схемы:

Термодинамически открытая система	Расход энергии за время $\Delta t$ для	
	внутренней работы	внешней работы
Организм . . . . .	$\frac{\Delta (A_{\min i} \cdot \ln I_{\text{осн}})}{\Delta t}$	$\frac{\Delta (A_{\min i} \cdot \ln I_e)}{\Delta t}$
Машина . . . . .	$A_i$	$A_e$

Для организма выполнение как внутренних работ основного обмена ( $A_{\text{осн}}$ ), так и «внешних» рабочих процессов ( $A_e$ ) всегда связано одновременно с выполнением антифлуктуационных внутренних рабочих процессов живой системы  $A_{\min i} \cdot \ln[I_{\text{осн}} \cdot I_e]$ . Живая система выполняет как внутренние, так и внешние рабочие процессы организма на основе одновременно протекающих антифлуктуационных процессов, которые обеспечивают сохранность термолabileйной структуры живой системы. В отличие от живой системы внутренние и внешняя работа машины не зависят друг от друга и протекают обычно в разное время. Когда машина работает, ее не ремонтируют; когда ее ремонтируют, она не работает. Термодинамически открытая живая система представляет собой своеобразную «химическую» машину, которая на основе вложенной в ее структуру информации непрерывно работает против собственной термической деструкции. В живой системе протекают два антагонистических процесса, которые лежат в основе обмена веществ: построение термолabileйной структуры и распад термолabileйной структуры при температуре жизни. Физиологические понятия (ассимиляция и диссимиляция, анаболизм и катаболизм, синтез и распад веществ) получают, таким образом, следующую термодинамическую интерпретацию. Ассимиляционные процессы представляют собой построение термолabileйной структуры живой системы, а диссимиляционные процессы представляют собой процессы термического разрушения структуры при температуре жизни. Под действием тепла при температуре жизни структура живой системы непрерывно разрушается и одновременно протекающие в живой системе рабочие процессы непрерывно строят заново термолabileйную структуру живой системы.



Мы приходим к заключению, что в основе жизни, в основе обмена веществ, лежат процессы преодоления термического хаоса, возникающего в самой живой системе при температуре жизни. Такие процессы являются антиэнтропийными. К биологическим процессам, поддающимся материальному моделированию, относятся «производные» процессы обмена веществ — функции отдельных органов и организма в целом, если только эти функции могут быть четко описаны в виде «внешних» рабочих процессов, как, например, в виде осмотической механической, электрической работы, в форме химических синтезов и т. д. Все эти явления поддаются материальному моделированию. Однако, по-видимому, нет возможности вложить в машину программу действия против собственной тепловой деструкции, когда действие машины происходит при температуре, обуславливающей тепловую деструкцию машины. Ведь материальный носитель программы также подвергается тепловой деструкции.

Живая система содержит структурную информацию, управляющую ходом рабочих процессов против тепловой деструкции собственной структуры, которая является носителем этой же информации. В этом и состоит с термодинамической точки зрения суть живой материи, отличающая ее от неживой материи.

Таковы важные с философской точки зрения выводы, к которым приводит применение термодинамики открытых систем к проблеме материального моделирования живых объектов.

Г. Б. ЛИНКОВСКИЙ

## **О некоторых характерных чертах и тенденциях развития кибернетики**

В развитии кибернетики можно выделить две следующие стороны:

1) изучение методами физико-математических и технических наук аналогии между управлением и связью в живой природе и технических устройствах;

2) внедрение вычислительных машин в самые различные сферы деятельности человеческого общества.

Первую сторону кибернетики выявил Н. Винер, который указывал на то, что автоматы и физиологические системы можно охватить единой теорией. Вторую сторону кибернетики, наиболее важную для общества, проанализировал академик А. И. Берг в ряде своих работ<sup>1</sup>. В широком плане эта последняя сторона охватывает научные и технические методы и средства применения новейших автоматических и вычислительных средств во всех основных сферах деятельности человеческого общества. Она связана с использованием автоматов и вычислительных машин не только как факторов сбора и обработки информации, но и как важного фактора совершенствования различных процессов управления (разработка и использование управляющих машин). Вторая сторона кибернетики смыкается с внедрением комплексной автоматизации в народное хозяйство.

Первая сторона кибернетики в основном носит теоретический характер. Для научно-технического прогресса ее роль менее заметна. В самом деле, простое подражание живым

---

<sup>1</sup> См. А. И. Берг, Кибернетику — на службу коммунизму, «Кибернетику — на службу коммунизму», т. I; *его же*, Проблемы управления и кибернетика, «Философские вопросы кибернетики»; *его же*, Электроника и кибернетика, «Известия высших учебных заведений. Радиотехника», т. 3, № 1, 1960; *его же*, О некоторых проблемах кибернетики, «Вопросы философии» № 5, 1960; *его же*, Кибернетика и общественные науки, «Строительство коммунизма и общественные науки», М., 1962.

системам при создании новых технических устройств не является основным в деятельности инженера-конструктора и изобретателя — творца новой техники. Более того, технические устройства иногда совсем не имеют каких-либо аналогий в живых системах<sup>1</sup>. Однако было бы неправильным рассматривать познание живых систем средствами кибернетики только с точки зрения инженера, ведь такое познание весьма необходимо для развития медицины, биологии и т. д. Вместе с тем становится все более ясным, что инженер должен пристально следить за результатами исследований, которые относятся к первой стороне кибернетики, так как знание многих свойств живой материи может быть с большой пользой для дела применено при конструировании новых технических систем. Особого внимания заслуживает в этом смысле человек и человеческий мозг как проявления наиболее высокоорганизованной материи, обладающей функциями памяти, анализа и синтеза, проектирования (т. е. фантазией, мышлением и т. д.).

Итак, в изучении аналогий между управлением и связью в живой природе и технических устройствах основное внимание должно быть уделено мозгу и нервной системе, продуктам самой совершенной живой материи, известной нам пока только на нашей планете — Земле. При этом необходимо всегда иметь в виду, что человек и человеческий мозг с его способностью к абстракции, логическому мышлению и т. д. возникли в результате труда и развития социальной жизни. В процессе завоевания космического пространства жители Земли могут встретиться с другими сознательными существами, обладающими иным строением и функционированием систем памяти, управления, логического анализа и синтеза и др. Диалектический материализм учит, что материя бесконечна в своих формах и качествах. Поэтому вряд ли правомерно рассматривать мозг человека Земли в качестве единственной формы мыслящей материи.

Две стороны кибернетики имеют прямое отношение к некоторым вопросам взаимосвязи между живой природой и неживой материей. Известно, что выявленные в ходе познания живой природы ее фундаментальные черты и отличия от неживой природы издавна использовались учеными и инженерами в их попытках моделирования отдельных черт живого с помощью неживых систем. При этом преследовалась цель не простого подражания деятельности живых организмов, а имело место стремление применить знание тех или иных сторон живого в практической деятельности людей, в борьбе с силами

---

<sup>1</sup> Ярким примером может служить такой важный элемент современной техники, как колесо, нигде не встречающееся в природе.

природы. Анализ исторического материала показывает, что подражание живым системам в истории техники имело большое значение, служило импульсом к созданию технических устройств, обладающих (хотя бы в очень ограниченной мере) функциями, аналогичными тем, которые характерны для живых систем. В ряде случаев такой подход приводил к созданию машин, значительно превосходивших по своей эффективности те или иные функции человека. С этой точки зрения тезис У. Р. Эшби об усилении умственных (мыслительных) способностей человека является приложением описанного подхода к такому явлению живой материи, как человеческий мозг.

В настоящее время предпринимаются новые попытки перекинуть мост между живой и неживой природой. Стали создаваться технические устройства, моделирующие поведение человека и животных (роботы); машины, «играющие» в шахматы и домино; машины, доказывающие некоторые математические теоремы, и т. д. Нынешнее развитие кибернетики опирается главным образом на новейшие достижения радиоэлектроники, иначе говоря, на технические средства второй стороны кибернетики. Одновременно достигнуты некоторые успехи и в изготовлении искусственных материалов, в какой-то мере способных заменять те «материалы», из которых строятся живые системы.

Человек, социальное и мыслящее существо, познавая мир, обнаружил различия и даже противоречие между живой и неживой материей. Стремление к ликвидации этого противоречия можно рассматривать как одну из движущих сил развития науки и техники. Проявляется это стремление в основном в направлении создания технических устройств, обладающих рядом свойств и черт поведения представителей живой природы (причем иногда даже в значительно усиленной форме). Нет сомнения, что это направление будет непрерывно развиваться. Живая и неживая материя, несмотря на свое глубокое различие, в то же время образуют единство. Можно утверждать, что наступает эпоха взаимопроникновения и частичной взаимозаменяемости живой и неживой материи. В настоящее время такая взаимозаменяемость имеет место пока лишь в некоторых случаях. Здесь следует прежде всего сказать о протезировании. Развитие протезирования есть свидетельство того, что человек добился такого высокого уровня развития форм неживой материи, когда уже можно поставить вопрос о замене искусственными, небиологическими конструкциями ряда органов живых организмов. Важной формой указанного совершенствования неживой материи является миниатюризация и сверхминиатюризация элементов в радиоэлектронике. Именно миниатюризация и сверхминиатюризация элементов современ-

ных автоматов создают условия для перехода количества в качество, — для создания сложных технических систем, обладающих достаточно высокой степенью надежности своей работы и используемых для автоматизации различных процессов умственного труда человека. При этом следует иметь в виду, что «целесообразная» работа самых сложнейших машин в настоящее время не имеет никакой самостоятельности и является лишь придатком к целесообразной деятельности человека.

Мы считаем, что в рассматриваемой нами проблеме можно говорить о двух аспектах проявления закона перехода количества в качество. Одним из них является возможность приобретения неживыми системами (техническими устройствами) по мере их развития ряда свойств живых систем (особенно в отношении их функционирования); другой состоит в возможности достижения развитыми техническими устройствами высокой надежности их работы, надежности, превосходящей в отдельных случаях даже надежность функционирования живых систем. Второй аспект неразрывно связан с кибернетическим анализом надежности в живой природе.

Стремление человечества к прогрессу и быстрое развитие науки и техники в конечном итоге поставят на службу человечеству аналогии между мозгом (и другими видами живой материи) и неживой материей (машинами), приближая работу машин к функционированию живых систем. Однако создание искусственных «разумных» существ, конечно, бесплечная мечта. Нельзя забывать, что некоторые «теоретики» империализма мечтают именно о такой «замене» рабочего класса.

\* \* \*

Итак, развитие первой стороны кибернетики и реализация техническими средствами второй стороны кибернетики представляют собой важную сторону прогресса современной техники; в то же время это развитие отображает бесконечный процесс познания живой материи, в частности средствами физико-математических и технических наук. Однако для общества более важную роль играет вторая сторона кибернетики, поскольку она является одним из серьезнейших факторов повышения производительности и эффективности человеческого труда, оптимизации процессов производства и т. п. Нарастающие темпы работ по оптимизации управления сложными технологическими процессами на основе использования управляющей, вычислительной и информационной техники позволяют говорить о том, что наступает эпоха промышленной кибернетики.

# **3**

## **Кибернетика и изучение познавательных психических процессов**

А. Н. ЛЕОНТЬЕВ,  
Е. П. КРИНЧИК

## **Некоторые особенности процесса переработки информации человеком**

Распространение кибернетического подхода на изучение психических процессов человека вызвало, как известно, столкновение разных точек зрения, выражающих методологически, философски различные тенденции: с одной стороны, тенденцию, которая выступает как попытка безоговорочного и, так сказать, механического переноса в психологию понятий и методов технической кибернетики, а с другой — противоположную тенденцию, принципиально отрицающую возможность использования достижений кибернетики в исследовании психических процессов человека.

Отнюдь не отрицая правомерности чисто теоретического анализа возникающей в этой связи общей проблемы распространения методов кибернетики на изучение психических процессов человека, мы имеем в виду в настоящей статье подойти к ней, опираясь на данные, полученные в конкретных экспериментальных исследованиях. Исследования эти посвящены изучению процесса переработки информации человеком и относятся к области, которую в настоящее время некоторые авторы склонны называть «психологической теорией информации».

В отличие от процессов циркуляции информации по техническим системам связи восприятие и переработка ее человеком являются процессами познавательными. Это значит, что они выполняют в деятельности субъекта отражательную, ориентирующую функцию. При этом процессы переработки информации могут занимать в структуре человеческой деятельности не одинаковое место. В одних случаях они играют чисто служебную роль, полностью скрыты от субъекта и их существование может обнаружить лишь специальное исследование. Таковы, например, процессы переработки информации, афферентирующей произвольные движения. В других случаях эти процессы

протекают на уровне действий, т. е. относительно самостоятельных, целенаправленных, контролируемых субъектом актов, что является характерным, например, для деятельности оператора, имеющего дело со сложными пультами сигнализации. Можно, наконец, отнести к процессам переработки информации также те процессы, которые образуют у человека состав собственно мыслительной его деятельности. Картина еще более усложняется тем, что указанные уровни переработки информации являются динамически связанными между собой. Последнее выступает особенно ясно как в случае происходящей автоматизации сенсорных действий, так и в случае, когда субъект, наоборот, преодолевает сложившиеся у него автоматизмы путем, например, «проговаривания» воздействующих на него сигналов, что переводит весь процесс на уровень сознательной деятельности.

На первый взгляд сказанное может привести к мысли, что применение понятия информации, как оно сложилось в теории связи, к человеку является неоправданным, что непосредственно никакой психологической реальности оно не отражает. Однако введение в психологию этого понятия вовсе не предполагает отождествления процессов переработки человеком данных его восприятия и соответствующих процессов в технических системах. Речь идет о приравнивании этих процессов друг к другу лишь на определенном уровне абстракции, а именно на уровне, позволяющем их квантификацию. Такое приравнивание необходимо прежде всего практически, так как в условиях автоматизации производственных процессов человек реально имеет дело с информацией, предъявляемой в той специальной форме, которая свойственна ее техническим источникам и входит в качестве звена в единую систему циркуляции информации.

С другой стороны, открывающаяся при этом возможность квантифицировать процесс переработки человеком информации, внося известную абстракцию, не отдаляет исследование от живой психологической реальности, а, напротив, позволяет глубже, полнее проникнуть в нее. Главным условием для этого является сосредоточение исследования на специфически человеческих особенностях восприятия и переработки информации, а не устранение их из сферы теоретико-информационного изучения. Но задача эта может быть решена лишь одним путем — экспериментально-психологическим.

Среди экспериментальных работ, посвященных процессам переработки информации человеком, наше внимание привлекли исследования, направленные на изучение зависимости времени



реакции человека от количества воспринимаемой информации<sup>1</sup>.

Основной факт, установленный в работах, заключается в том, что эта зависимость является линейной и может быть описана уравнением прямой  $T = a + bH$ , где  $T$  — среднее время реакции на сигнал;  $H$  — количество информации, приходящее на сигнал в среднем;  $a$  и  $b$  — константы. При этом величина, обратная углу наклона прямой ( $1/b$ ), принимается как выражающая скорость получения информации человеком в ситуации выбора.

Ценность указанного факта состоит в том, что им устанавливается функциональная связь между временем реакции и количеством воспринимаемой информации. Это дает в руки исследователя критерий, с помощью которого можно квантифицировать и анализировать самый процесс переработки информации человеком.

Указанные исследования интересны также тем, что в них используется экспериментальная процедура (эксперимент на время реакции выбора), очень близкая к передаче информации в технических системах связи. Поэтому именно в этих вполне сопоставимых условиях могут наиболее корректным образом выявиться конкретные особенности процесса переработки информации человеком.

Нужно отметить, что дальнейшая разработка проблемы соотношения времени реакции и количества информации позволила выделить некоторые психофизиологические факторы, так или иначе влияющие на эту зависимость, и предложить некоторые объясняющие модели<sup>2</sup>.

Однако вопрос о психологических механизмах, обуславливающих указанное выше закономерное соотношение, остался открытым. Соответственно остался открытым и вопрос об особенностях самого процесса переработки информации человеком.

Наше исследование, результаты которого излагаются ниже, отвечает двум взаимосвязанным, но относительно самостоятельным вопросам. Первый из них может быть сформулирован следующим образом.

---

<sup>1</sup> Подробнее об этом см. *А. Н. Леонтьев, Е. П. Кринчик*, О применении теории информации в конкретно-психологических исследованиях. Современные исследования реакции выбора, «Вопросы психологии» № 5, 1964.

<sup>2</sup> *W. E. Hick*, On the Rate of Gain of Information, «Journal of Experimental Psychology», vol. IV, 1952, p. 1; *I. A. Leonard*, Choice Reaction Time Experiments and Information Theory, «Paper at the 4-th London Symposium on Information Theory», September, 1960.

Если время реакции человека детерминировано величиной воспринимаемой им информации, то возникает вопрос, какова психологическая структура той реальности, которая открывается субъекту за понятием количества информации и которая столь закономерно определяет скорость его реагирования на сигналы в такого рода опытах.

В связи с этим приобретает принципиальный смысл использование в подобного рода экспериментах не только меры количества информации, приходящегося на стимул в среднем и определяемого по формуле Шеннона<sup>1</sup>, но и меры количества информации, содержащегося в отдельном сигнале и определяемого по формуле Голдмана<sup>2</sup>  $I = -\log P$ , где  $I$  — количество информации, содержащееся в отдельном сигнале;  $P$  — вероятность данного сигнала<sup>3</sup>.

Представляя одну и ту же систему единиц, эти информационные меры отражают две существенно различные с психологической точки зрения ситуации, которые, очевидно, по-разному будут определять скорость реакции выбора. Сопоставление в эксперименте этих двух ситуаций и должно позволить раскрыть психологическое содержание понятия количества информации.

Первая задача, которая в связи с этим возникает, состоит в исследовании характера зависимости времени реакции от величины индивидуальной информации. Для решения этой задачи нами было проведено специальное исследование.

В экспериментах воспроизводилась классическая методика по изучению времени реакции выбора. Использовалось всего два альтернативных стимула. В ответ на зажигание одной из двух лампочек испытуемый должен был нажать на один из двух ключей, что гасило лампочку. Условием, которое варьировалось в эксперименте, было распределение вероятности появления сигнала. В соответствии с используемыми величинами вероятностей количество индивидуальной информации изменялось в опыте от 0,09 до 4 дв. ед., величина средней информации — от 0,33 до 1 дв. ед. Каждый сигнал в серии принимал как маловероятные, так и многовероятные значения.

Инструкция требовала от испытуемого реагировать на сигналы с максимальной скоростью и при этом категорически запрещала делать ошибки. Сигналы следовали с интервалом

---

<sup>1</sup> См. *Р. Шеннон*, Математическая теория связи, «Теория передачи электрических сигналов при наличии помех», М., 1953.

<sup>2</sup> См. *С. Голдман*, Теория информации, М., 1957.

<sup>3</sup> В дальнейшем количество информации, содержащееся в отдельном сигнале, мы будем называть индивидуальной информацией, а шенноновскую меру — средней информацией.

в 8 секунд; за 2 секунды до вспыхивания лампочки подавался сигнал «внимание» — звонок.

Прослеживалось изменение времени реакции с изменением количества индивидуальной и средней информации.

Для проведения экспериментов было сконструировано автоматическое программное устройство (в первой модели — для двух раздражителей, во второй — для пятнадцати), позволяющее автоматически предъявлять любую последовательность раздражителей.

Опыты, результаты которых будут изложены ниже, были проведены с одиннадцатью испытуемыми. Экспериментальный материал представляет свыше 130 тыс. измерений. С частью испытуемых опыты проводились по двигательной методике, с частью — по методике речевой.

Результаты экспериментов (первая серия), усредненные по обоим сигналам и по всей группе испытуемых, изображены на рис. 1. На графиках по оси абсцисс отложено количество информации в двоичных единицах, по оси ординат — среднее время реакции в миллисекундах.

Первый факт, о котором можно говорить на основании имеющихся экспериментальных данных, состоит в том, что с увеличением индивидуальной информации (с уменьшением вероятности сигнала) систематически возрастает время реакции; на участке от 1 до 4 дв. ед., т. е. в диапазоне редких сигналов ( $P \leq \frac{1}{2}$ ) (рис. 1, б, в), это изменение по своему характеру приближается к линейному. Однако угол наклона прямой  $b$ , выражающий прирост времени реакции на единицу информации, оказывается существенно меньшим, чем в опытах Хика, Хаймена<sup>1</sup>. У разных испытуемых его величина колеблется в пределах от 16,4 до 31,7 мсек/дв. ед.

Анализ данных по всему диапазону применяемых вероятностей, т. е. на участке от 0,09 до 4 дв. ед., показал, что зависимость времени реакции от величины индивидуальной информации имеет логарифмический характер (рис. 1, г, д). Об этом свидетельствует тот факт, что прирост времени реакции на единицу информации на участке от 0,09 до 1 дв. ед. существенно больше, чем на участке от 1 до 4 дв. ед. Так, например, у испытуемых Н. А. и П. В. он составляет в диапазоне частых сигналов 100 и 60 мсек, а в интервале от 1 до 4 дв. ед. средняя величина этого прироста равна соответственно 23,4

---

<sup>1</sup> R. Hyman, Stimulus Information as a Determinant of Reaction Time, «Journal of Experimental Psychology», vol. 45, N 3, 1953.

и 19,2 мсек/дв. ед. Гипотеза о логарифмическом характере установленной закономерности была подтверждена критерием  $F^1$ .

Методика описываемого исследования позволила получить в тех же самых экспериментах данные относительно зависимости времени реакции от величины средней информации, варьируемой путем изменения вероятностей фиксированного числа сигналов (см. рис. 1, *е, ж*). Полученные экспериментальные данные свидетельствуют о том, что и в этих экспериментах время реакции линейно зависит от количества средней информации. Однако величина угла наклона прямой  $b$  для этой зависимости оказалась в наших опытах значительно меньшей, чем в опытах Хаймена.

Вторая серия опытов имела своей задачей изучить на тех же испытуемых зависимость времени реакции от количества средней информации, варьируемой путем изменения числа равновероятных сигналов. В опытах измерялось время реакции выбора из 2, 4 и 8 равновероятных сигналов. Усредненные результаты этих опытов приведены на рис. 1, *а*. Как видно из этого графика, изучаемая зависимость носит отчетливо выраженный линейный характер и полностью сопоставима по своим параметрам с данными Хика и Хаймена.

Результаты первой и второй серий экспериментов показали, во-первых, что изучаемые зависимости оказались существенно различными по величине эффекта. В диапазоне от 1 до 4 дв. ед. обе зависимости аппроксимируются прямой линией. Однако эти прямые характеризуются существенно различной величиной константы  $b$ . По данным, усредненным по всей группе испытуемых,  $b_I = 16-18$  мсек/дв. ед. (первая серия),  $b_{H_8} = 209$  мсек/дв. ед. (вторая серия).

Сравнительный анализ указанных выше зависимостей обнаружил различия между ними и по характеру. В то время как данные второй серии хорошо соответствуют линейной зависимости (так же как и в опытах Хика и Хаймена), зависимость времени реакции от количества индивидуальной информации можно интерпретировать как логарифмическую (первая серия).

Данные первой и второй серий позволяют сравнить влияние на время реакции количества средней информации, варьируемой двумя различными способами: 1) путем перераспределения вероятностей фиксированного числа сигналов ( $n=2$ ); 2) путем изменения числа равновероятных сигналов ( $n=2, 4, 8$ ). Как показали эксперименты, в обоих случаях мы имеем соотношение, приближающееся к линейному, но, согласно нашим данным, обе прямые явно различаются по углу наклона прямой.

---

<sup>1</sup> См. Б. Л. ван дер Варден, Математическая статистика, М., 1960.

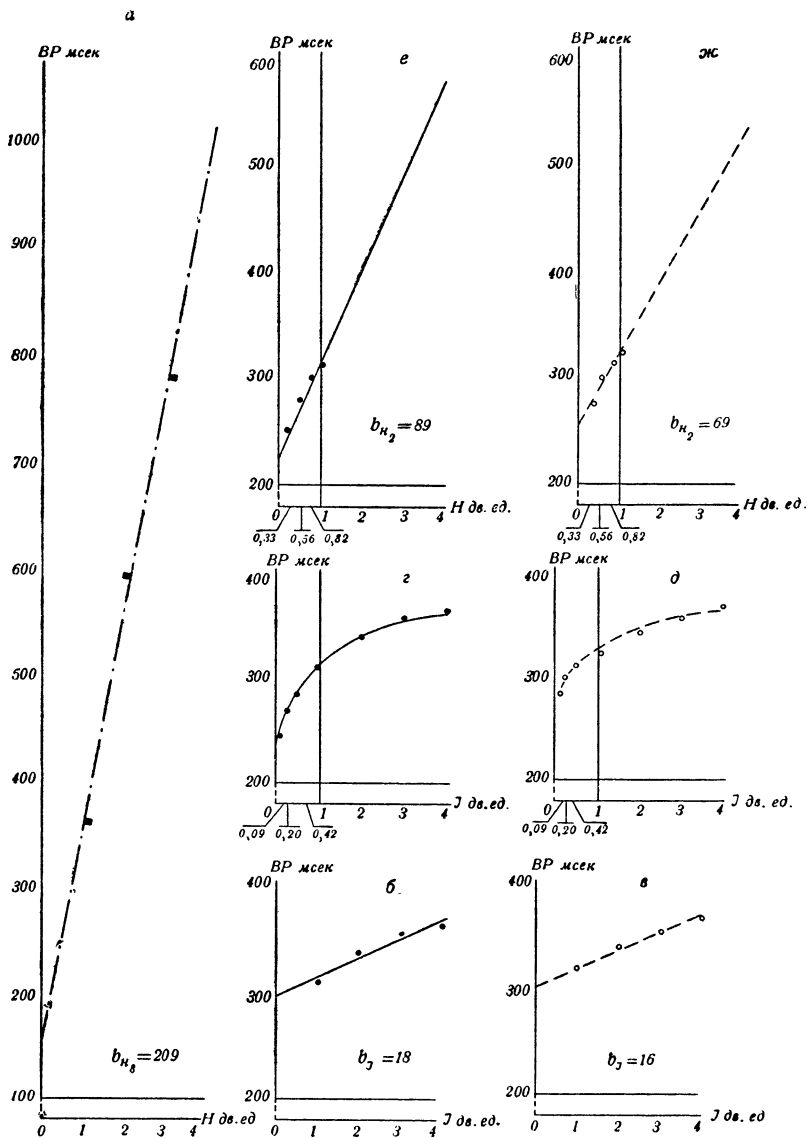


Рис. 1. Зависимость времени реакции человека от количества воспринимаемой информации:

$\alpha$  — результаты опытов с изменением количества средней информации путем варьирования числа равновероятных сигналов;  $\beta$  —  $\delta$  — результаты опытов с изменением количества индивидуальной информации;  $\epsilon$  —  $\zeta$  — результаты опытов с изменением количества средней информации путем варьирования вероятностей появления фиксированного числа сигналов

Так, в среднем по всей группе испытуемых  $b_{H_3} = 69$ — $89$  мсек/дв. ед. (первая серия),  $b_{H_3} = 209$  мсек/дв. ед. (вторая серия). Эти результаты не согласуются с данными, полученными Хайменом в одной из его серий, где средняя информация варьировалась путем перераспределения вероятностей сигналов и числа альтернативных сигналов. Экспериментальные точки легли, по данным Хаймена, на ту же прямую, что и точки, полученные в опытах, где средняя информация менялась за счет варьирования числа равновероятных сигналов. Угол наклона этой прямой для четырех испытуемых лежал в пределах от 127 до 215 мсек/дв. ед.

Таким образом, сопоставление обнаруженных зависимостей показывает, что сравниваемые информационные меры — индивидуальная и средняя информация — отражают две различные психологические ситуации, по-разному определяющие поведение человека. Соответственно они требуют для своего восприятия различных по структуре и содержанию процессов.

Психологический механизм восприятия и переработки индивидуальной информации основан на восприятии человеком вероятностной структуры предъявляемой последовательности сигналов. Схватывание вероятностной структуры предъявляемой последовательности выражается в том, что эта структура адекватно отражается в распределении времени реакции на равновероятные сигналы. При этом в результате усвоения вероятностной структуры происходит оптимизация процесса восприятия равновероятных сигналов, что свидетельствует об активном характере восприятия информации человеком. Таким образом, вероятность сигнала является существенной переменной, закономерно определяющей скорость восприятия сигналов в ситуации выбора. В этом смысле можно говорить об особой детерминанте реакции выбора — степени неожиданности сигнала.

Возможное гипотетическое представление о механизме действия неожиданности состоит в следующем: систематическое увеличение времени реакции с уменьшением вероятности сигнала обусловлено тем, что неожиданный сигнал оказывается сильным раздражителем, вызывающим на себя ориентировочную реакцию, которая временно тормозит условную связь, образующуюся между раздражителем и соответствующей ему реакцией. Так, в наших опытах мы наблюдали своеобразный эффект последствия, вызванного появлением очень редкого сигнала и заключавшегося в резком замедлении реакции на частый сигнал, непосредственно следующий за редким сигналом.

Таким образом, мы приходим к идее о двойственности психологической реальности, открывающейся в ситуации, которая

моделирует подачу информации технической системе связи. Это психологически два разных типа неопределенности: временная неопределенность и неопределенность альтернативная. При этом характерно, что для человека в отличие от технических устройств эти типы неопределенности представляют разную трудность (для него труднее альтернативная неопределенность).

Другое направление, в котором шло исследование, заключалось в прослеживании влияния на процесс переработки информации человеком фактора значимости сигнала.

Известно, что теория информации сознательно абстрагируется от фактора ценности сообщения<sup>1</sup>. Соответственно во всех описанных выше исследованиях использовались системы равнозначных сигналов. Однако учет важности сообщения является специфически человеческой чертой восприятия информации. Вот почему нам представилось необходимым введение этого фактора в исследование соотношения времени реакции и количества информации.

В этой связи могли быть выдвинуты следующие гипотезы.

Во-первых, можно было предположить, что скорость восприятия информации определяется автономным механизмом и не зависит от такого субъективного фактора, как степень значимости сигнала.

Во-вторых, можно было допустить, что введение этого фактора в случае, когда он вызывает эффективную реакцию (оценку) испытуемого, может привести к простой дезорганизации нормального течения процесса.

В-третьих, можно было думать, что изменение соотношения значимости сигналов обнаруживает себя не просто в дезорганизации процесса, а в закономерном его изменении.

Методика этой части исследования оставалась той же, но была осложнена следующим образом. В эксперименте некоторым сигналам придавалось особое значение: воспроизводилась ситуация аварийного подкрепления. Если время реакции испытуемого на сигнал, имеющий значение аварийного, оказывалось больше заданного эталона, то установка якобы ломалась (ее незаметно от испытуемого отключал экспериментатор), опыт прекращался.

Результаты экспериментов, представленные на рис. 2, показали, что влияние фактора значимости сигнала проявилось в двух эффектах. Во-первых, произошло существенное снижение времени реакции на аварийный сигнал по абсолютной величине. В среднем по группе испытуемых оно составило

---

<sup>1</sup> См. Л. Бриллюэн, Наука и теория информации, М., 1960.

61 мсек в опытах с индивидуальной информацией и 320 мсек в опытах со средней информацией. При этом завышение времени реакции на нейтральные сигналы по сравнению с фоновой серией составило соответственно 1,6 мсек и 28 мсек. Во-вторых, введение фактора значимости привело к снижению величины константы  $b$  в опытах с индивидуальной информацией, по данным некоторых испытуемых, более чем в 2 раза; в опытах со средней информацией, по данным, усредненным для всей группы испытуемых, — в десять раз. Если учесть, что величина, обратная константе  $b$ , интерпретируется как скорость получения информации человеком (Бриккер<sup>1</sup>, Леонард), то полученные в исследовании факты свидетельствуют о том, что фактор значимости сигнала приводит к интенсификации процесса переработки информации человеком, повышая скорость получения информации, поступающей от значимых сигналов.

Как показывает анализ, этот эффект возникает не за счет ухудшения реакции на нейтральный сигнал. Несущественным оказалось также и некоторое увеличение ошибочных реакций в опыте в целом. Отпадает также предположение о том, что это снижение времени реакции произошло за счет большей тренированности испытуемого к моменту опытов с аварийным подкреплением.

По-видимому, полученный эффект можно отнести за счет того, что у испытуемого происходит перестройка процессов, которая создает повышенную его мобилизацию по отношению к особо важным по значению сигналам. Это согласуется и с отчетами испытуемых, которые сообщали о состоянии повышенного напряжения в процессе работы в этих опытах.

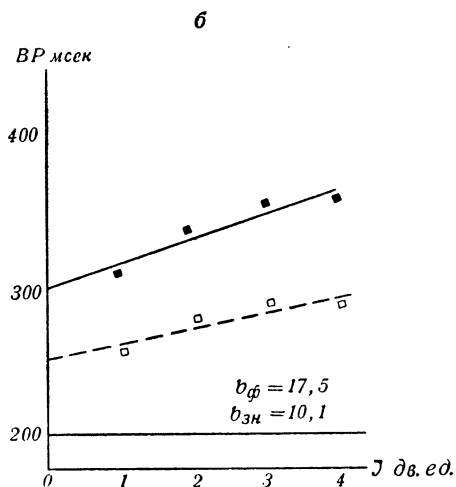
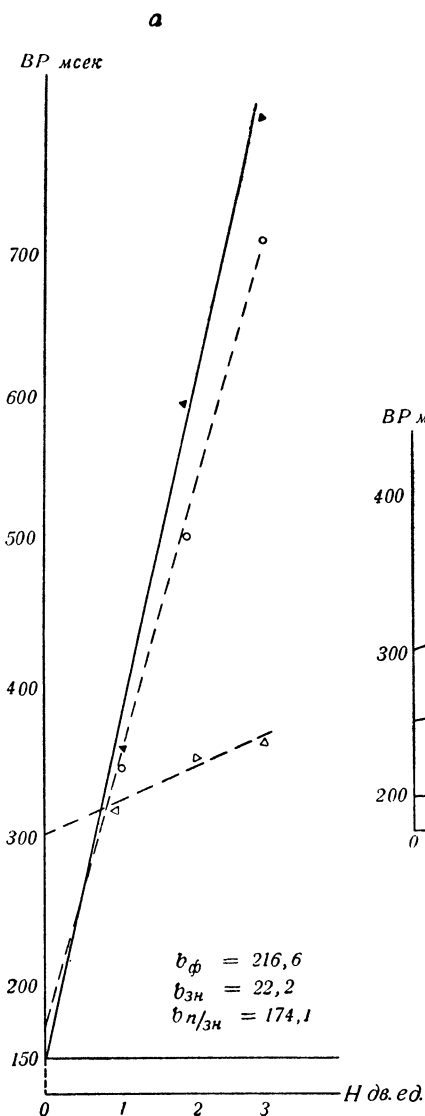
Таким образом, полученные экспериментальные данные позволяют утверждать, что повышение значимости сигналов закономерным образом организует поведение человека и проявляется в более эффективном осуществлении действия. Иначе говоря, проведенные опыты подтвердили третью указанную выше гипотезу о закономерном влиянии степени значимости сигнала на процесс переработки информации, которую он несет.

Это открыло очень важную перспективу возможности квантифицировать такое сугубо психологическое явление, как субъективное отношение человека к воздействующим на него сигналам. По нашему предположению, такой мерой степени субъективной значимости может служить величина угла наклона прямой.

---

<sup>1</sup> P. D. Bricker, *Information Measurement and Reaction Time*, «Information Theory in Psychology», Glencoe, 1956.





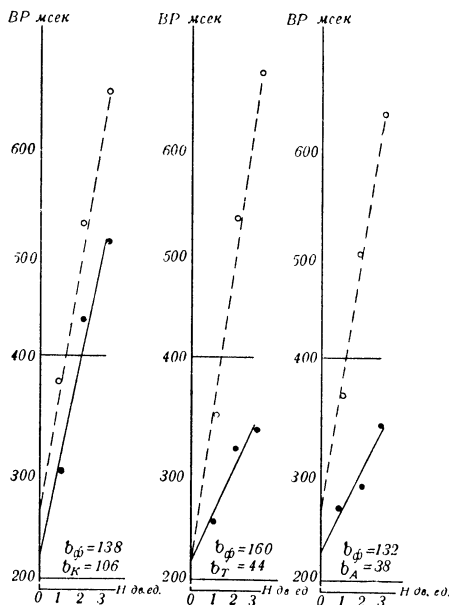
**Р и с. 2. Влияние фактора значимости сигнала  
на зависимость времени реакции от количества средней (а)  
и индивидуальной (б) информации:**

сплошная линия — результаты фоновой серии; пологая штриховая линия — результаты опытов с аварийным подкреплением; крутая штриховая линия — результаты опытов с отменой аварийного подкрепления

В исследовании, проведенном при участии С. Л. Рысаковой, изучалась зависимость времени реакции выбора от количества средней информации в условиях работы с сигналами, характеризующимися различными степенями значимости.

В опытах, аналогичных описанным выше, трем из восьми сигналов придавались три различных значения. Использовались три типа подкрепления, обусловивших различные степени значимости сигналов: 1) информативное подкрепление — в случае задержки реакции на один из значимых сигналов перед испытуемым вспыхивала красная лампочка, сообщающая ему о сделанной задержке; 2) болевое подкрепление — в случае задержки реакции на другой значимый сигнал испытуемый получал удар током в запястье правой руки; 3) аварийное подкрепление — в случае задержки реакции на третий сигнал установка «ломалась» и опыт прекращался.

Остальные сигналы были нейтральными. В качестве фона брались данные, полученные в опытах, где все сигналы были нейтральными. В опытах приняли участие 6 человек.



Р и с. 3. Влияние различной степени значимости сигналов на зависимость времени реакции от количества средней информации:

штриховая линия — результаты фоновой серии; сплошная линия — результаты опытов с информативным, болевым и аварийным подкреплениями.

Индексы при константе  $b$  означают соответственно:  $K$  — информативное подкрепление;  $T$  — болевое подкрепление;  $A$  — аварийное подкрепление;  $\Phi$  — фоновая серия

Результаты экспериментов, усредненные по всем испытуемым, представлены на рис. 3. Штриховая линия показывает данные фоновой серии, сплошная — данные серии со значи-

мостью отдельно для каждого типа подкрепления. Сплошная линия, параллельная оси абсцисс, — эталон времени. Буквами обозначены типы подкрепления: *K* — информативное, *T* — болевое, *A* — аварийное подкрепление. Как и в предыдущей серии, в этих опытах введение фактора значимости сигнала приводит к изменению двух параметров — времени реакции на значимый сигнал и величины угла наклона прямой.

Анализ экспериментального материала показал, что величина изменения этих параметров неодинакова для различных типов подкрепления. Информативное подкрепление вызвало наименьшее изменение обоих параметров. Значительно более существенно они изменились при болевом и аварийном подкреплениях. Причем надо отметить, что, будучи разными по природе (одно — психологическое, другое — биологически значимое), эти два типа подкрепления оказались при усреднении сближенными между собой. В среднем по всей группе испытуемых снижение времени реакций на значимые сигналы составило: для информативного подкрепления — 104 мсек, для болевого — 217 мсек, для аварийного — 203 мсек. Аналогичным образом изменилась под влиянием фактора значимости сигнала и величина угла наклона прямой. По данным, усредненным для всей группы испытуемых, скорость переработки информации повысилась при информативном подкреплении в 1,3 раза, при болевом — в 3,6, при аварийном — в 3,4 раза. Однако при анализе индивидуальных данных обнаруживаются отчетливые различия в эффекте аварийного и болевого подкреплений. Для одних испытуемых более значимым было психологическое, аварийное подкрепление, для других — биологическое, болевое. Это различное отношение и отразилось на характере изменения времени реакции и величины угла наклона прямой. Одни испытуемые дали максимальное снижение этих двух параметров при аварийном подкреплении, другие — при болевом. Снижение времени реакции при болевом подкреплении у отдельных испытуемых колеблется от 266, 237 до 177, 198 мсек, при аварийном — от 221, 209 до 189, 199 мсек (у З. Т., например, это снижение составило при болевом подкреплении 237 мсек, при аварийном — 197 мсек; у К. И. — 177 мсек при болевом и 199 мсек при аварийном). Скорость переработки информации у отдельных испытуемых при болевом подкреплении повысилась в 8,8 раза, у других — в 2,8—3 раза; при аварийном подкреплении — в 5,1—4 раза у одних и в 1,7 раза у других (у К. И. — в 8,8 раза при болевом и в 4 раза при аварийном; у Б. В. — в 2,8 раза при болевом и в 3,9 раза при аварийном). Этот факт свидетельствует о том, что система значимостей формируется у каждого испытуемого под влиянием его индивидуальных осо-

бенностей и его психологической установки, как бы своеобразной самоинструкции, которая может быть очень различной.

Таким образом, в этой части исследования отчетливо выступил тот факт, что изменение как времени реакции, так и скорости переработки информации осуществляется в соответствии с той степенью значимости сигнала, которая зависит от подкрепления того или иного типа. В связи с этим можно считать, что эти два параметра можно использовать в качестве методического критерия для шкалирования такого сугубо психологического фактора, как субъективное отношение человека к воздействующим на него сигналам.

В заключение можно сформулировать некоторые общие итоги.

Одна из существенных особенностей переработки информации человеком, которая выступила в результате проведенного исследования, состоит в том, что за понятием *количество информации* человеку открывается некоторая реальность, характеризующаяся особой структурой. Две переменные, входящие в определение количества информации, — вероятность сигнала и число альтернативных сигналов — являются для человека такими агентами действительности, которые по-разному дифференцируют поведение человека и закономерно влияют на восприятие человеком семантического содержания сигнала.

Выявленное в условиях лабораторного эксперимента специфическое воздействие вероятностных и альтернативных отношений на поведение человека позволяет пойти дальше и экстраполировать эти отношения на широкую систему взаимодействия человека с внешним миром. Воспринимаемая человеком картина мира, сложная и постоянно меняющаяся, содержит систему вероятностных и альтернативных отношений, в которых явления внешнего мира даны человеку. В этом смысле можно было бы сказать, что внешний мир по своей структуре «информативен». Эти специфические отношения учитываются человеком в его поведении. Они становятся объектом отражения и регулятором поведения. В связи с этим возникает особая проблема психологического исследования: как человек отражает эти особые свойства реальности, какие «функциональные системы»<sup>1</sup> формируются у него для восприятия этих специфических качеств внешнего мира, какова их структура, как они складываются.

Другой не менее важной особенностью процесса восприятия информации человеком является то, что этот процесс в отличие

---

<sup>1</sup> См. А. Н. Леонтьев, Природа и формирование психических свойств и процессов человека, «Вопросы психологии» № 1, 1955.

от процессов циркулирования информации в технических системах носит отчетливо выраженный активный характер. Этот тезис может быть подтвержден анализом полученных нами данных, характеризующих восприятие разнoverоятных сигналов. Такой анализ показывает, что реакция на вероятностную структуру системы сигналов выражается в появлении операций схватывания испытуемым этой структуры, что и создает субъективный феномен ожидания, или «подстораживания», редких сигналов. Иными словами, переработка информации человеком представляет собой особую деятельность, оптимизирующую процесс.

По существу тот же вопрос о достижении человеком оптимального реагирования на сигналы, несущие информацию, стоял и перед второй частью исследования, посвященной изучению роли значимости сигнала. В опытах, составивших содержание этой части исследования, также имеет место своеобразное перераспределение скорости реакции, в данном случае выразившееся в снижении времени реакции на сигнал повышенной значимости.

И в этом случае введение фактора значимости меняет способ действия испытуемых, создавая также особое «подстораживание» (теперь уже по отношению к значимому сигналу).

Итак, конкретный подход к анализу процесса переработки информации человеком позволяет, мы думаем, снять как метафизическое противопоставление, так и столь же метафизическое отождествление процессов, свойственных человеку, со сравнимыми с ними процессами в технических системах.

Позволяя выделить некоторые особенности переработки информации человеком, такой подход расширяет круг процессов, описываемых в теории информации, включая в него и процессы психологические, что, естественно, должно привести к развитию и самой теории информации.

Е. Н. СОКОЛОВ

## **О моделирующих свойствах нервной системы**

В философскую литературу, освещающую теорию познания, прочно вошла рефлексорная теория, рассматривающая поведение как систему закономерных ответов организма на внешние воздействия. При анализе рефлексорных основ поведения, к сожалению, иногда допускается чрезмерное упрощение рефлексорной деятельности. В силу этого такие основные понятия диалектико-материалистической теории познания, как понятие образа внешнего мира, понятие отражения, не получают в ряде случаев достаточного развития, так как их по сути дела отождествляют с понятием элементарного рефлекса. Одной из причин такого положения является недостаточное внимание к той части рефлекса, которую И. М. Сеченов назвал центральной частью рефлексорной дуги. Между тем перво-физиологические процессы, протекающие в центральных отделах нервной системы, имеют важнейшее значение во всей рефлексорной деятельности. Их изучение необходимо для того, чтобы раскрыть процессы построения образов, выявить закономерности отражения внешнего мира психикой человека.

Значение кибернетики при решении этого вопроса состоит в том, что она направляет внимание исследователей на изучение формирования образа и его функций путем сопоставления сложных форм поведения живых организмов и самоприспосабливающихся автоматов. Вместе с тем она ставит исследователя перед необходимостью философского обобщения результатов такого сопоставления.

Одним из возможных подходов к анализу процесса отражения является рассмотрение нервной системы как устройства, моделирующего внешний мир в специфических изменениях своей внутренней структуры. В этом смысле определенная совокупность изменений в нервной системе изо-

морфна тому внешнему воздействию, которое она отображает, с которым она сходна. Образ как внутренняя модель, возникающая в нервной системе под влиянием внешних воздействий, самым существенным образом изменяет характер поведения, обеспечивая возможность предвидения событий и активного приспособления к внешней среде.

Моделирование, основанное на математической аналогии между исследуемой системой и моделью, предполагает, что модель определенным образом изображает поведение объекта или процесс в природе. В физическом моделировании используется не полное, а частичное подобие природы и модели, касающееся только тех отношений, которые представляют интерес для исследователя. Описание происходящих в модели физических процессов дает возможность осуществить математическое решение задач, относящихся к исследуемой системе. При этом подобие между моделью и природой позволяет во многих случаях простым изменением масштабов получить достаточно хорошее совпадение графически изображенных зависимостей, характеризующих рассматриваемые процессы в модели и в природе.

Можно предположить, что нервная система, обладающая большим количеством нейронов, способных хранить следы возбуждения, сама моделирует внешние воздействия. С этой точки зрения изменения, вызванные в нервной системе, должны быть подобны тем воздействиям, которые их вызывают. При этом важно подчеркнуть, что это подобие не может быть полным, а касается, по-видимому, лишь тех отношений, которые представляют интерес с точки зрения приспособления организма к окружающей среде. В указанном смысле центральную нервную систему можно рассматривать как моделирующее устройство, степень сложности которого можно характеризовать степенью сложности решаемых им задач.

В данной работе рассматриваются некоторые формы нервной деятельности как процесса моделирования внешних воздействий в связи с проблемой регулирования поведения.

## 1. Нервная модель стимула и ее свойства

Впервые с явлениями, указывающими на то, что высшие отделы центральной нервной системы создают своеобразные модели внешних воздействий, автор этих строк столкнулся при изучении реакции на «новизну» раздра-

жителя при исследовании так называемых *ориентировочных рефлексов*. Особенность ориентировочного рефлекса в том, что после нескольких применений одного и того же раздражителя (обычно от 5 до 15 применений) реакция исчезает (или, как принято говорить, угасает), но стоит лишь произвести самое незначительное изменение раздражителя, как реакция возникает снова. Описанное исчезновение ориентировочной реакции нельзя объяснить снижением возбудимости, так как экстренное ослабление раздражителя вплоть до величины, близкой к абсолютному порогу раздражения, также приводит к возобновлению реакции. Регистрируя целый ряд компонентов ориентировочной реакции, таких, как движение глаз, кожно-гальванический рефлекс, депрессия биотоков мозга, можно убедиться в селективности достигаемого угашения: какой бы параметр стимула после полученного угашения ни менять, ориентировочная реакция обязательно возникает вновь (что находит наиболее отчетливое выражение в изменении биотоков мозга человека и животных).

Исследование ориентировочной реакции показывает, что она не возникает как прямой результат приходящего возбуждения, а порождается сигналами рассогласования, появляющимися при компарации афферентных сигналов со сложившимся в нервной системе следом ранее нанесенного стимула. В известных пределах амплитуда и длительность ориентировочной реакции пропорциональны разнице между сложившимся следом (измеряемым в единицах измерения наносимого стимула) и действующим в данный момент раздражителем. В частном случае, когда эффект, порождаемый в нервной системе действующим раздражителем, совпадает со сложившимся ранее следом, ориентировочная реакция отсутствует. Зависимость величины ориентировочной реакции от степени совпадения раздражителя со следовым процессом позволяет, нанося специально подобранные тестирующие стимулы, определять всю «конфигурацию» следа, оставленного в нервной системе многократным нанесением раздражителя. Проведенные исследования показали, что след, оставляемый в нервной системе многократно наносимым раздражителем, и сам этот раздражитель в определенном отношении подобны друг другу. Это дает основание рассматривать след раздражителя в нервной системе как его своеобразную нервную модель.

Сходство формирования нервной модели стимула с процессом моделирования в технике состоит в том, что нервная модель, как и модель техническая, является изображением процессов, протекающих в окружающей среде.

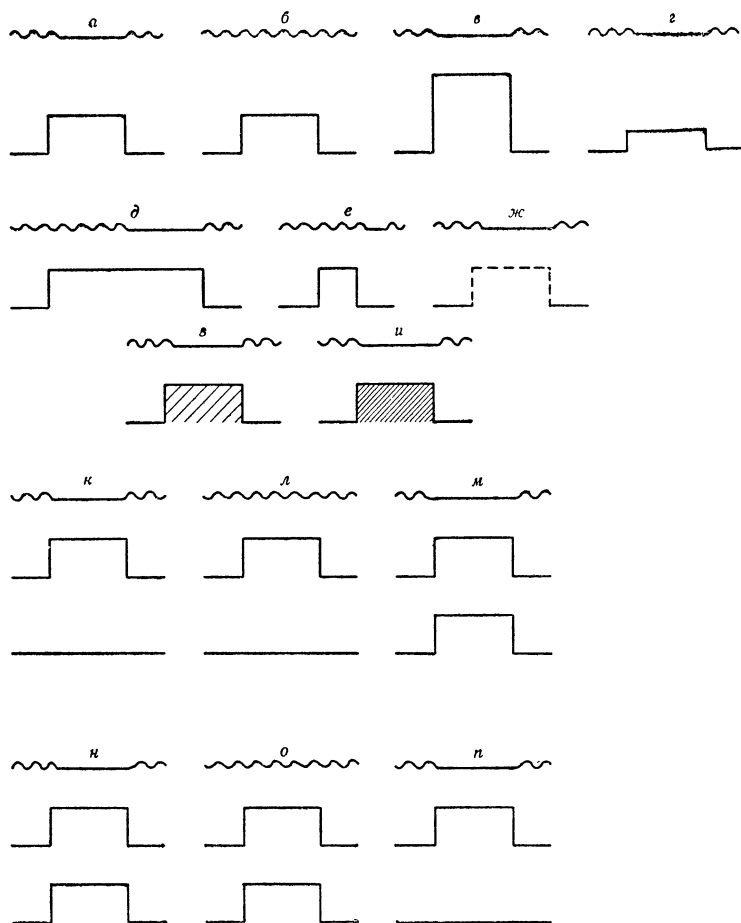


Рассмотрим типичный эксперимент по изучению нервной модели стимула. Световой раздражитель постоянной длительности, интенсивности, цвета, размера и положения в пространстве с одинаковыми интервалами многократно предъявляется испытуемому, спокойно сидящему в полной темноте перед экраном. Непрерывная регистрация электрической активности мозга испытуемого позволяет следить за тем, какое действие оказывает каждое последующее применение раздражителя. В ходе многократных применений стимула реакции на него, состоящие в подавлении регулярных электрических колебаний мозга, ослабевают и затем совершенно не обнаруживаются. Тогда следует критический опыт: один из постоянных параметров стимула подвергается изменению и испытуемому наносится измененный раздражитель. Если изменение параметра стимула, избранного для проверки реакции, достигает величины порога различения, угасшая реакция появляется вновь, указывая на то, что нервная система обнаружила различие между применявшимся сигналом и новым раздражителем. Реакция появляется в тот момент, когда внешний стимул перестает соответствовать сложившемуся следу, начинает отличаться от образованвшейся нервной модели.

На схеме (рис. 1) представлены примеры появления реакций при усилении, ослаблении, удлинении, укорочении сигнала, подаче сигнала раньше обычного времени, пропуске сигнала в обычное время и изменении качества сигнала. Ориентировочная реакция возникает также при добавлении к световому раздражителю сигнала другого качества, например звука, а также при исключении из комплекса, включающего, например, звук и свет, одного компонента.

Поскольку ориентировочная реакция возникает при изменении любого параметра стимула (цвета, величины, формы, продолжительности и ритма), то следует признать, что нервная модель стимула является многомерным изображением внешнего воздействия.

Нервная модель стимулов учитывает также сложные взаимоотношения стимулов, действующих на разные органы чувств. Одним из методов исследования отражения комплексных (т. е. действующих одновременно на ряд рецепторов) раздражителей в нервной модели стимула является прием так называемого вычитания. Этот прием состоит в следующем. После того как ориентировочная реакция на комплекс одновременно действующих раздражителей исчезает, экспериментатор отбрасывает один из компонентов комплекса. После этого ориентировочная реакция появляется вновь. Это можно объяснить только механизмом сравнения действующего

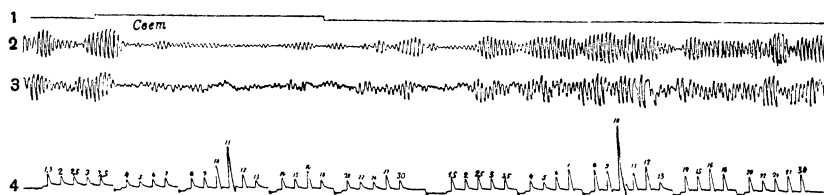


Р и с. 1. Схема типовых опытов по выявлению следовых процессов.

На каждом из рис. а — п сверху дано схематическое изображение альфа-ритма или его депрессии; внизу — схематическое изображение стимула. Первые применения стимула вызывают депрессию биотоков (а). После ряда применений постоянного по своим параметрам стимула он перестает вызывать реакцию (б). Реакция появляется при усилении (в), ослаблении (г), удлинении (д), укорочении (е), пропуске (ж), изменении качественной характеристики стимула (з, и). Следует обратить внимание на то, что при удлинении и укорочении реакция появляется в тот момент, когда прежнее значение следа перестает совпадать с реально действующим раздражителем; (к, л) — опыты с комплексами из двух одновременно действующих раздражителей; (к, л) — демонстрируют угасание реакции биотоков на один компонент комплекса; при добавлении второго компонента появляется реакция (м). После угасания реакции на комплекс (н, о) отбрасывание одного из компонентов также вызывает реакцию (п).

раздражителя с нервной моделью стимула и выработкой сигналов рассогласования. Поскольку опыт с использованием комплексного раздражителя является наиболее убедительной формой демонстрации сложных форм моделирования свойств объектов внешней среды нервной системой, рассмотрим его на конкретном примере<sup>1</sup>.

Первое применение светового раздражителя вызывает у человека, находящегося в полной темноте с открытыми глазами, отчетливое изменение биотоков затылочной области мозга. Это изменение состоит в уменьшении амплитуды альфа-ритма (колебаний биотоков мозга с частотой 8—12 сек.), охватывающем все время действия раздражителя, а также в возрастании основной частоты биоколебаний, обнаруживаемом с помощью электронного гармонического анализатора (см. рис. 2).

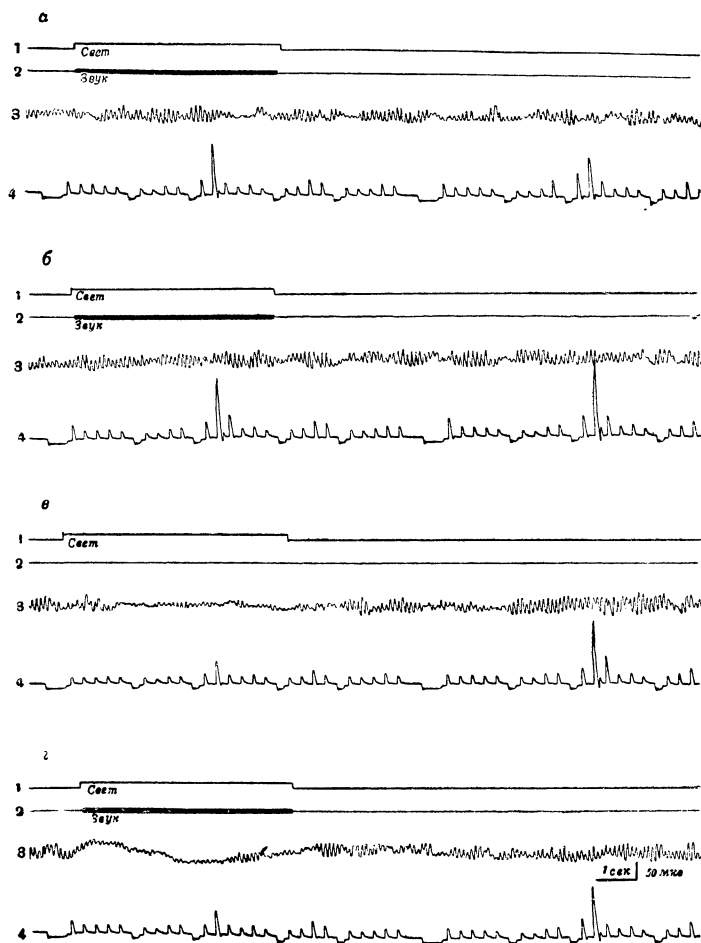


Р и с. 2. Первое применение светового раздражителя, вызывающее локальную реакцию депрессии альфа-ритма ЭЭГ (электроэнцефалограммы) человека:

1 — отметка светового раздражителя; 2 — составляющая альфа-ритма, выделенная с помощью электронного фильтра, настроенного на 10  $\mu$ ; 3 — ЭЭГ затылочной области мозга; 4 — показание гармонического анализатора биотоков Уолтера; амплитуда отклонений пера показывает энергию, накопленную интегратором за 10 сек. анализа. Цифры обозначают частоту, на которую настроен каждый фильтр. Из рисунка видно, что свет вызывает реакцию затылочной области, которая состоит в подавлении альфа-колебаний с частотой 10  $\mu$  и в одновременной трансформации ритма колебаний до 11  $\mu$ , но сниженной амплитуды. После прекращения раздражения восстанавливается фоновый альфа-ритм частотой 10  $\mu$ .

После многократных применений светового раздражителя, когда ориентировочная реакция на него полностью угасает, начинается основная часть опыта. Одновременно со светом в действие вводится звук. В результате вновь возникает ориентировочная реакция в виде кратковременного подавления альфа-колебаний в начале и во время действия комплекса раздражителей. После ряда повторений действия комплекса

<sup>1</sup> Пример заимствован из исследования, выполненного под руководством автора настоящей статьи на кафедре психологии Московского государственного университета имени М. В. Ломоносова аспирантом Ван Цинном.



**Р и с . 3.** Ориентировочная реакция, возникающая в результате отбрасывания одного из компонентов комплекса одновременно действующих раздражителей. На каждом из рисунков а—г сверху вниз следуют:

- 1 — отметки светового раздражителя, 2 — отметки звукового раздражителя, 3 — ЭЭГ заглавной области, 4 — показания анализатора биотоков.
- а. После того как реакции на свет и звук были порознь угашены, сочетание этих раздражителей вызывает все же слабую реакцию, обнаруживающуюся лишь в виде короткой депрессии альфа-ритма. Изменения спектра биотоков находятся в пределах возможных колебаний.
- б. После ряда повторений комплекса «свет — звук» все реакции угасают. а. Исключение звука, входящего в комплекс, приводит к тому, что изолированное действие света вызывает локальную депрессию альфа-ритма, обнаруживающуюся и в изменении спектра биотоков (видно подавление колебаний, имеющих частоту 10 гц).
- г. После применения одного изолированного компонента комплекса (света) происходит растормаживание реакции на комплекс «свет — звук», которая перед этим была стойко угашена

«свет — звук» реакция на эту комбинацию раздражителей полностью исчезает. Тогда вместо ставшего уже привычным для нервной системы испытуемого комплекса «свет — звук» подается один световой раздражитель (без звукового сопровождения), что приводит к появлению ориентировочной реакции. Если теперь снова ввести в действие комплекс «свет — звук», то он на некоторое время вновь становится эффективным (рис. 3).

Аналогичные опыты, поставленные с тремя разными раздражителями (свет, звук, прикосновение), действующими один вслед за другим (последовательный комплекс), показали, что в нервной модели стимула отражается не только факт совпадения разных раздражителей, но и порядок чередования их во времени<sup>1</sup>.

## 2. Нервная модель стимула и экстраполирующие свойства нервной системы

Исходя из того, что ориентировочный рефлекс возбуждается импульсами рассогласования при несовпадении афферентного раздражения и нервной модели стимула, мы должны ожидать, что реакция будет длиться в течение всего времени, пока эта разница имеет место, т. е. в течение всего времени сравнения стимула со следом в нервной системе. На самом деле этого не наблюдается. Реакция возникает только в начальный момент рассогласования и исчезает на фоне действия нового раздражителя, который в отношении модели остается все еще измененным. Для объяснения этого явления следует предположить, что уже в ходе действия нового раздражителя прежняя модель заменяется новой моделью, соответствующей новому раздражителю. С этой точки зрения нервную модель стимула нельзя представить себе в виде некоего статического отпечатка. Модель стимула непрерывно перестраивается в соответствии с учетом свойств действующего раздражителя.

Динамические свойства нервной модели обнаруживаются также в опытах с угасанием ориентировочного рефлекса при строгом соблюдении временных интервалов между раздражителями. Избирательное угасание достигается здесь в отношении временной последовательности раздражителей, а ориентировочный

---

<sup>1</sup> См. Л. Г. Воронин и Е. Н. Соколов, К вопросу о механизме ориентировочного рефлекса и его взаимоотношения с условным рефлексом, «Гарские беседы», т. III, Тбилиси, 1960, стр. 213—239.

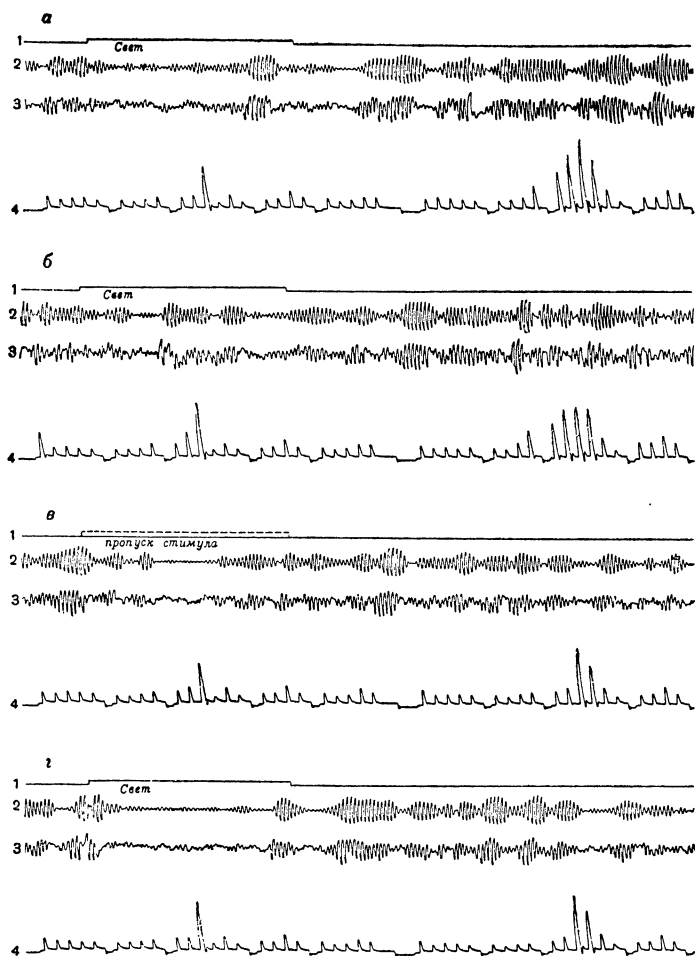
рефлекс вновь возникает при нарушении этой последовательности, например при пропуске раздражителя. В связи с особой важностью этого эффекта для дальнейшего изложения рассмотрим его на конкретном примере угасания реакции биотоков мозга.

Опыт проходит следующим образом. Сначала свет, подаваемый периодически через 20 сек., вызывает реакцию — депрессию альфа-ритма. В дальнейшем реакция ослабевает и полностью исчезает. Она возникает, однако, вновь, когда периодичность подачи раздражителя нарушается в результате того, что в «привычное» время световой раздражитель оказывается пропущенным. После пропуска происходит растормаживание (восстановление) реакции на следующий стимул (см. рис. 4).

В приведенном опыте никакой внешний раздражитель не действовал. Причиной появления реакции было то, что в нервной системе сложился след, фиксирующий периодичность наносимых раздражителей. Отсутствие стимула в заданное время, не соответствовавшее сложившейся нервной модели, вызвало в центральной нервной системе возбуждение и реакцию в виде депрессии биотоков мозга. Изменение периодичности подачи сигналов привело к перестройке нервной модели, в результате чего следующий стимул уже вызывал реакцию, хотя и был предъявлен с прежней периодичностью.

В данном случае можно говорить о нервной модели распределения стимула во времени. Для объяснения этого явления следует предположить, что нервная система производит точный отсчет времени и вырабатывает импульсы, сигнализирующие об ожидаемом действии раздражителя, в результате чего к началу действия стимула афферентное раздражение и сигнал предвосхищения (экстраполяции) появляются одновременно. Если импульсы, вырабатываемые нервной системой, и импульсы, вызванные реально действующим раздражителем, совпадают, сигнал рассогласования отсутствует и ориентировочная реакция не возникает. В противоположном случае, когда эти два вида импульсаций не совпадают друг с другом (в приведенном примере это происходит при пропуске раздражителя, порождающем ситуацию, когда импульсы экстраполяции не сопровождаются приходом афферентных импульсов), возникают сигнал рассогласования и связанная с ним ориентировочная реакция.

С этой точки зрения проблемы, связанные с первой моделью стимула, не ограничиваются анализом механизма памяти, а включают в себя также рассмотрение механизма экстраполяции, в котором процессы памяти имеют подчиненное значение.



Р и с. 4. Ориентировочная реакция, возникающая в результате пропуска в обычное время светового стимула. На каждом из рисунков а—г сверху вниз следуют:

1 — отметка светового раздражителя; 2 — показания фильтра, настроенного на 10 гц; 3 — ЭЭГ затылочной области мозга; 4 — показания гармонического анализатора.

а. Реакция на первое применение света в данном опыте ослаблена в результате влияния хронического угашения в предыдущих опытах.

б. После ряда применений светового раздражителя, наносимого со строго постоянными интервалами времени в 20 сек., реакция исчезает.

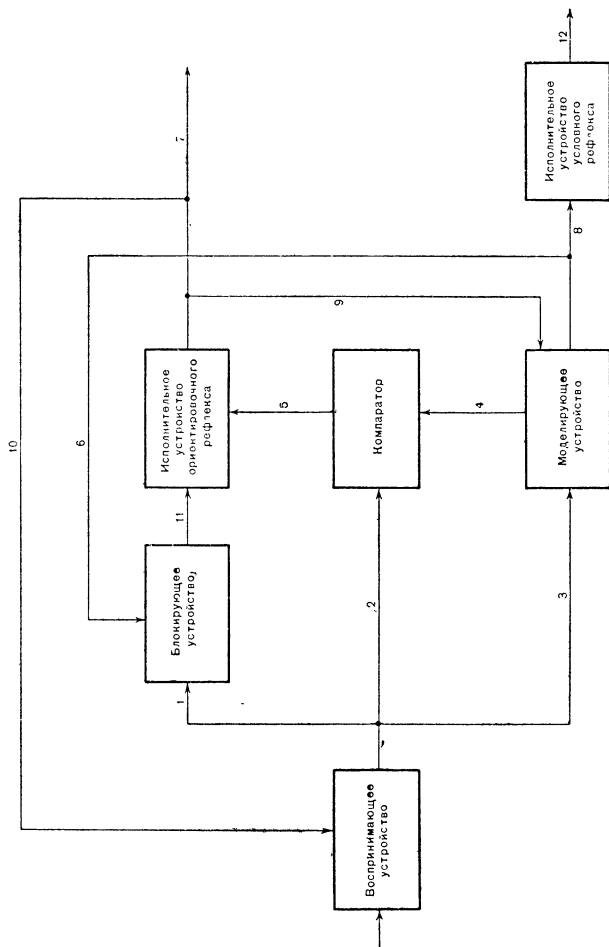
в. Нарушение периодичности раздражений (пропуск стимула); реакция появляется в интервал времени, когда должен был бы появиться раздражитель; она отличается несколько большим латентным периодом, чем в случае фактического действия раздражителя; вместе с тем возникновение реакции в интервале времени, когда должен был бы действовать раздражитель, свидетельствует о том, что отсчет времени в нервной системе ведется с достаточной точностью.

г. После пропуска стимула наблюдается растормаживание реакции на обычно наносимый стимул; при этом реакция становится значительно больше, чем при пропуске сигнала. Это свидетельствует в пользу существования двух механизмов, участвующих в порождении ориентировочной реакции: импульсов рассогласования, в чистом виде представленных в случае пропуска стимула, и деблокирования прямого пути возбуждения к исполнительным механизмам ориентировочного рефлекса (выражается в усилении реакции на последующий стимул)

### 3. Нервная модель стимула в регуляции поведения

С явлением образования нервной модели стимула связан чрезвычайно своеобразный биологический регулятор, объединяющий механизм ориентировочного и условного рефлексов. Схематически этот регулятор можно представить состоящим из следующих элементов: воспринимающее устройство; устройство моделирования внешних воздействий; компаратор, сравнивающий афферентные раздражения с сигналами моделирующего устройства; орган управления ориентировочной реакцией; исполнительное устройство условного рефлекса, в котором используются сигналы моделирующего устройства (см. рис. 5). Импульсы, управляющие ориентировочной реакцией, могут достигать ее исполнительных центров двумя разными путями: по коллатералиям (ответвлениям) аксонов специфических путей и по путям, ведущим от корковых отделов больших полушарий головного мозга, осуществляющих функцию сравнения следа с приходящими афферентными раздражениями. В процессе многократных применений происходит блокада пути, ведущего через коллатерали и систему дополнительных, так называемых вставочных нейронов к исполнительным механизмам ориентировочного рефлекса. Эту блокаду можно представить себе следующим образом. Всякое длительное действие раздражителя приводит при участии вставочных нейронов к развитию тормозного процесса. При многократном применении раздражителя это торможение, как безусловно-рефлекторная реакция, вступает в условнорефлекторную связь с наносимым раздражением. После образования этой условной тормозной связи начало действия стимула становится сигналом для развития процесса торможения. В результате путь проведения возбуждения по коллатералиям уже в первый момент действия привычного стимула оказывается закрытым. Что касается пути опосредованного влияния на ориентировочный рефлекс через механизм компарации, то он остается. В случае когда афферентное раздражение и импульсы, экстраполирующие значение сигнала, совпадают по времени, импульсы рассогласования отсутствуют и ориентировочная реакция не возникает. В момент изменения раздражителя или его внезапного пропуска афферентные импульсы перестают соответствовать экстраполируемым значениям сигнала; в результате возникают импульсы рассогласования и появляется ориентировочная реакция. Одновременно нарушается блокада прямого пути, ведущего через коллатерали и вставочные нейроны к центрам ориентировочной реакции. Это происходит потому, что нервная





Р и с. 5. Структурная схема ориентировочного рефлекса:

1 — специфическое афферентное возбуждение, поступающее по коллатералям к афферентным механизмам через систему блокирующего устройства; 2 — специфическое афферентное возбуждение, поступающее к устройству компарации; 3 — специфическое афферентное возбуждение, которое поступает к моделирующему устройству, содержащему механизм экстраполяции; 4 — импульсы, которые вырабатываются экстраполирующим механизмом и поступают в устройство компарации; 5 — сигнал рассогласования, возникающий при несоответствии афферентного раздражения и экстраполируемого сигнала; 6 — импульсы экстраполяции, используемые для блокировки афферентных сигналов, поступающих по коллатералям к афферентным механизмам ориентировочной реакции; 7 — афферентные импульсы ориентировочного рефлекса; 8 — импульсы экстраполяции, служащие для механизма условного рефлекса; 9 — обратное влияние ориентировочного рефлекса на механизм образования верной модели стимула; 10 — обратное влияние ориентировочной реакции на рецепторы; 11 — импульсы, прошедшие блокирующее устройство; 12 — афферентные импульсы условного рефлекса

модель стимула нарушается и ее влияние на условнорефлекторный механизм торможения ослабевает. Это «деблокирующее» действие нового раздражителя проявляется в том, что после однократного изменения раздражителя ранее применявшийся раздражитель (на который реакции были уже стойко угашены) вновь вызывает ориентировочную реакцию. По мере повторения раздражителя формируется нервная модель стимула, одним из существенных свойств которой является предвосхищение будущих значений афферентных импульсов на основе анализа их протекания в прошлом. Нервные импульсы, предвосхищающие будущие значения раздражителя, используются в нервной системе, во-первых, для вызова положительной условной реакции на время действия раздражителя и, во-вторых, для предварительной блокады импульсов, поступающих к исполнительным центрам ориентировочного рефлекса. Импульсы, предвосхищающие значение афферентных сигналов, непрерывно сравниваются с реально поступающими афферентными сигналами. Возникающий сигнал рассогласования пропорционален разнице между экстраполируемым и реальным значениями сигнала.

Рассматривая ориентировочный рефлекс как своеобразный биологический регулятор, можно отметить, что он относится к группе регуляторов с упреждающей обратной связью. Н. Вийнер<sup>1</sup> приводит следующий простой пример такого регулятора. Во время охоты охотник прицеливается в летящую утку; при этом он стремится свести к минимуму не ошибку в направлении ружья на воспринимаемую цель, а ошибку в его направлении на предугадываемое положение цели в момент подлета к ней заряда ружья. Эффективность работы регулятора с упреждающей обратной связью определяется прежде всего эффективностью экстраполяции положения цели. Одним из путей улучшения качества экстраполяции является получение дополнительной информации или целесообразное изменение принципов ее обработки в процессе регуляции. В последнем случае объектом регулирования является сама поступающая информация; регулятор такого типа может в этом смысле рассматриваться как информационный регулятор. Ориентировочный рефлекс с этой точки зрения является регулятором, корректирующим экстраполяцию, влияющим на получение новой информации, на ее отбор, передачу и обработку. Примером реакций, направленных на получение новой информации, могут быть ориентировочные движения глаз, осуществляющие поиск новых объектов.

---

<sup>1</sup> См. Н. Вийнер, Киббернетика, или Управление и связь в животном и машине, стр. 143.

Примером регуляции передачи информации в нервной системе может служить возрастание скоростей элементарных нервных процессов в анализаторах в результате включения активизирующего механизма ориентировочной реакции. Влияя на отбор, передачу и, по-видимому, переработку информации, ориентировочный рефлекс обеспечивает наилучшее прогнозирование действующих на организм раздражителей и в силу этого создает высокую эффективность условнорефлекторных реакций, имеющих непосредственно приспособительное значение.

#### 4. Ориентировочный рефлекс как информационный регулятор

Возможность предвосхищения внешних сигналов с помощью нервной модели стимула основана на процессе опознавания внешнего раздражителя, завершающегося отнесением его к определенной категории раздражителей. Пока такое отнесение не завершено, ориентировочная реакция, включающая настройку рецепторов и общие поисковые движения животного, обеспечивает процессы сбора и эффективной передачи информации, необходимые для правильного опознавания неизвестного объекта.

Особенности ориентировочного рефлекса как системы реакций, направленных на получение информации о внешних объектах и передачу ее в соответствующие нервные центры, отчетливо выступают при анализе так называемого осязательного компонента ориентировочного рефлекса у человека. *Осязательным компонентом ориентировочного рефлекса* мы называем отдельные движения руки или пальца, связанные с ощупыванием неизвестного предмета в условиях, исключающих использование зрения. Эти осязательные движения по своим закономерностям близки ориентировочным движениям глаз. Однако в силу более медленного осуществления осязательных движений процесс протекания ориентировочного рефлекса в этом случае осуществляется в более длительное время, что позволяет лучше его изучить. Кроме того, использование осязательных движений позволяет создать условия для работы одноканальной рецепторной системы. С этой целью в наших опытах изображение, воспринимаемое испытуемым, схематизировалось и выкладывалось на доске отдельными пашками, размер которых выбирался равным первой фаланге указательного пальца. Такой же величины делались и расстояния между пашками. При этом для опознавания изображения, выложенного с помощью пашек на доске, содержащей  $5 \times 5$  клеток,

испытуемому разрешалось производить движения только кончиком указательного пальца. Такие условия опыта делали возможным учет всей информации, получаемой испытуемым о воспринимаемом изображении, так как он не мог определить характер каждого элемента изображения, не перемещая пальца в пространстве. Траектория движения пальца отражала систему ориентировочных реакций, с помощью которых осуществлялся сбор информации, необходимой для опознавания изображения (см. рис. 6).

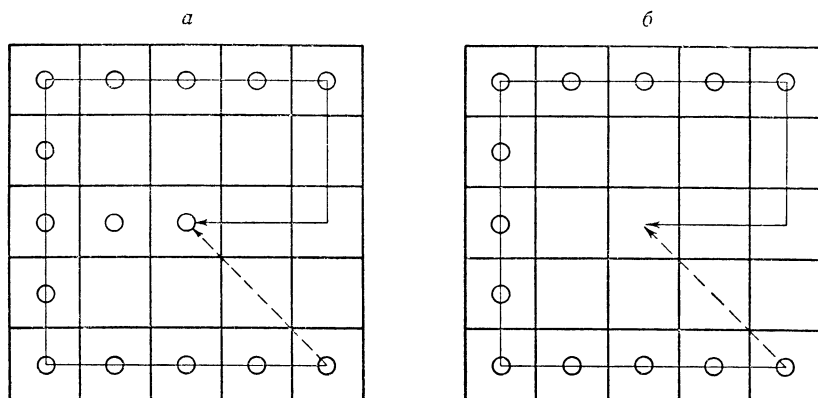


Рис. 6. Схема осязания буквы.

На рис. представлены схемы ощупывания букв Е (рис. а) и С (рис. б), выложенных шашками на квадрате  $5 \times 5$ , на разных стадиях тренировки. Сплошная линия соответствует опыту, когда последовательное ощупывание всех точек квадрата заменилось ощупыванием лишь контура соответствующих букв. Пунктиром дана траектория ощупывания на заключительной стадии тренировки

Наличие или отсутствие шашки в определенной клетке является элементарным признаком изображенной буквы. Анализ процесса опознавания изображения в ходе описанных опытов приводит к выводу, что ориентировочная реакция представляет собой систему активных «вопросов» к объекту, ответом на которые служит получаемая от объекта информация в виде элементарных признаков. Каждое последующее движение пальца (каждый последующий «вопрос») является результатом получения и переработки информации, содержащейся в предшествующих клетках. Время, затрачиваемое испытуемым на осуществление всей системы движений, характеризует общую длительность ориентировочного рефлекса, а число осязанных клеток — ту информацию, которая была при этом получена.

Опыты, поставленные нами совместно с Л. Арана с целью изучения процесса опознавания человеком разного рода осяза-

тельно представляемых изображений (букв, схематизированных китайских иероглифов)<sup>1</sup>, позволили связать процесс опознавания сложных изображений с механизмом участия нервной модели стимула в регуляции ориентировочного рефлекса. Оказалось, в частности, что длина траектории осязательных движений зависит от той системы нервных моделей (гипотез), которой пользуется испытуемый в процессе опознавания. Чем значительнее число гипотез, тем большее время занимает процесс ощупывания. Выбор клеток, подлежащих ощупыванию, определяется используемой системой гипотез и результатами, получаемыми в ходе ощупывания. При этом исходная система гипотез под влиянием реальных частот появления изображений в ходе опыта перестраивается. В частности, гипотезы (которыми в данном случае являются образы букв в памяти человека), характеризующиеся низкой частотой реализации в опытах, исключаются из проверки. В результате тренировки в стабильных условиях число используемых гипотез (образов букв, учитываемых при проверке) постепенно уменьшается и начинает совпадать с числом реально предъявляемых изображений букв. Это выражается в снижении общей длительности ощупывания и в сокращении числа ощупываемых клеток до числа минимально необходимых для опознавания предъявляемых букв. Чем меньше число используемых гипотез, тем короче ориентировочная реакция, тем меньше требуется элементарных актов ощупывания отдельных клеток.

При введении новых изображений система гипотез, используемая испытуемым, резко расширяется и становится существенно большей, чем число реально вводимых изображений. В результате возрастают длительность ориентировочной реакции и число ощупываемых клеток. По мере предъявления новой системы изображений система гипотез трансформируется до тех пор, пока вновь не оказывается соответствующей системе предъявляемых изображений.

Анализ траекторий осязательных движений выявляет следующую особенность опознавания сложных изображений с помощью осязания: присутствие или отсутствие палочки в определенной клетке (являющееся, как указывалось, признаком определенной буквы) изменяет вероятность того, какой нервной модели соответствует данное изображение. Когда после ряда ощупываний вероятность одной из гипотез достигает пороговой величины и делается значительно большей, чем вероятности других гипотез, происходит опознавание — отнесение данного

---

<sup>1</sup> См. *Е. Н. Соколов*, Вероятностная модель восприятия, «Вопросы психологии» № 2, 1960.

изображения к одной из нервных моделей. Это отнесение может быть достигнуто задолго до завершения ощупывания всех клеток.

Правильное отнесение изображения к определенной нервной модели лежит в основе процессов экстраполяции, так как позволяет испытуемому заранее предсказать расположение неизвестных элементов изображения. Таким образом, процесс опознавания изображения и механизм экстраполяции тесно связаны друг с другом. Как указывалось выше, система ориентировочных движений, образующая траекторию ощупывания, может рассматриваться как своеобразная система «вопросов» к объекту. Возникающий образ содержит ответы на эти вопросы, а при правильном опознавании, кроме того, и ответы на другие вопросы к тому же объекту, которые могли бы быть (но не были) поставлены.

Рассмотренные выше закономерности осязательного компонента ориентировочной реакции при опознавании тактильно предъявленных изображений могут быть распространены на опознавание и временных последовательностей. Промежуточным звеном, подготавливающим испытуемого к переходу от описанных выше опытов к опытам, в которых он имеет дело с временными последовательностями раздражителей, может быть предъявление осязательно воспринимаемого изображения в виде развернутой в строчку последовательности шашек и «пустых» промежутков — элементарных признаков «да» и «нет». При осязательном восприятии таких развернутых в строчку изображений у испытуемых также можно обнаружить сокращение системы гипотез за счет исключения из нее таких, вероятность осуществления которых лежит ниже некоторого уровня. Одновременно можно обнаружить, что эффект опознавания развернутого изображения происходит до завершения восприятия всей строчки развертки. При этом длительность движений ощупывания зависит от тех же факторов, что и другие компоненты ориентировочного рефлекса (движение глаз, депрессия альфа-ритма) в опытах по дифференцировке звуковых и световых последовательностей.

Это открывает возможность распространения закономерностей, относящихся к осязательному компоненту ориентировочного рефлекса, на другие его компоненты с тем, чтобы на этой основе построить общую схему протекания ориентировочного рефлекса.

Одной из возможных схематизаций, позволяющих обобщить целый ряд закономерностей ориентировочного рефлекса, является вероятностная модель процесса опознавания изображений. В основе этой схематизации лежит представление о

существовании в нервной системе подробных записей сложных сигналов и об осуществляемом ею учете вероятностей их реализации в условиях данного опыта. Предполагается, что по мере действия сложного стимула происходит непрерывное уточнение вероятностей гипотез из той системы гипотез, которой пользуется организм. Это уточнение происходит на основе наблюдения за происходящими в каждый момент времени изменениями сигнала, представленными в нервной системе группами нервных импульсов. Процесс опознавания с этой точки зрения есть отнесение неизвестного изображения (сигнала) к одному из следов памяти, производимое на основе: а) поступающих импульсов; б) системы «записанных» в памяти сигналов, с которыми испытуемый имел дело в прошлом опыте; в) вероятности появления каждого из этих сигналов в условиях данного опыта; г) вероятности появления элементарного признака данного сигнала, представленного группой импульсов определенной частоты.

В этом случае предполагается, что в нервной системе зарегистрированы следы (нервные модели)  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , представляющие собой систему гипотез. Рассматривая раздражители как временные последовательности, можно считать, что каждая нервная модель в определенный момент времени характеризуется наличием или отсутствием признака  $K_j$ , представленного группой нервных импульсов определенной частоты. Вероятность реализации каждой нервной модели в данном опыте, т. е. вероятность принадлежности к ней неизвестного объекта, характеризуется вероятностью  $P(A_i)$ . Появление признака  $K_j$  для соответствующей нервной модели  $A_i$  характеризуется условной вероятностью  $P(K_j/A_i)$ .

Ознакомление с признаком  $K_j$  изменяет вероятность принадлежности изображения к каждой из нервных моделей. Это изменение можно выразить следующей системой переходов:

$$\begin{aligned} P(A_1) &\rightarrow P(A_1/K_j); \\ P(A_2) &\rightarrow P(A_2/K_j); \\ P(A_n) &\rightarrow P(A_n/K_j). \end{aligned}$$

С указанной точки зрения процессы опознавания, протекающие в нервной системе, можно представить на основе теоремы Байеса, позволяющей количественно оценить изменение вероятностей гипотез под влиянием появления отдельных признаков объекта. Согласно этой теореме,

$$P(A_i/K_j) = \frac{P(A_i) \cdot P(K_j/A_i)}{P(K_j)},$$

где  $i = 1, 2, \dots, n$  — индекс, нумерующий гипотезы;

$j = 1, 2, \dots, m$  — индекс, нумерующий признаки;

$P(A_i)$  — априорная вероятность появления в опыте сигнала, принадлежащего группе  $A_i$  (термин *априорная вероятность* имеет здесь относительное значение: он указывает на вероятность появления сигнала, определяемую организмом на основе прошлого опыта к моменту восприятия признака  $K_j$ );

$P(K_j/A_i)$  — вероятность признака  $K_j$  (наличие шашки в определенной клетке при восприятии букв; появление группы нервных импульсов в момент времени  $t$  при восприятии временных последовательностей);

$P(A_i/K_j)$  — апостериорная вероятность того, что предъявляемый сигнал действительно принадлежит к группе  $A_i$  при условии, что признак  $K_j$  имел место; следует подчеркнуть, что апостериорная вероятность, получаемая после наблюдения определенного признака, является априорной по отношению к следующему наблюдению признака.

Если нервная модель  $A_i$  связана с ответной реакцией организма, то еще до завершения наблюдения всех признаков объекта создается возможность заранее реагировать на данный сигнал. Условием возникновения реакции еще до того, как будет завершено восприятие всех признаков объекта, можно принять  $P(A_i/K_j) \geq a$ , где  $a$  — порог опознавания.

Таким образом, возможность опознавания объекта до завершения перебора всех его признаков позволяет заранее подготовить и осуществить реакцию. Это объясняет также возможность появления условной реакции на косвенные признаки объекта, т. е. признаки, не указывающие категорически на объект, но связанные с ним высоким уровнем вероятности появления.

Ориентировочная реакция (в ее различных формах: ощупывающие движения, движения глаз, изменения альфа-ритма и т. д.) с развиваемой точки зрения является реакцией на неопределенность ситуации; эта реакция появляется вместе с возникновением неопределенности и длится, пока неопределенность сохраняется. Сама ориентировочная реакция направлена на устранение неопределенности данной ситуации путем сбора дополнительной информации или изменения способа ее переработки.

Логично предположить, что величина ориентировочной реакции измеряется величиной энтропии, характеризующей распределение вероятностей гипотез. Когда имеется много равновероятных гипотез, то энтропия системы гипотез велика. Возникающая при этом ориентировочная реакция, направлен-



ная на ознакомление с ситуацией, приводит к тому, что вероятность одной из гипотез возрастает, в результате чего энтропия всей системы гипотез снижается. Неопределенность ситуации снимается, и ориентировочная реакция исчезает.

Величина ориентировочной реакции характеризуется энтропией системы гипотез

$$R = k [H(A_1, 2, \dots, n/K_j) - \alpha],$$

где  $H(A_1, 2, \dots, n/K_j)$  — энтропия системы гипотез после наблюдения признака  $K_j$ ;  $\alpha$  — пороговое значение энтропии;  $R$  — величина ориентировочной реакции;  $k$  — коэффициент пропорциональности.

Ориентировочная реакция возникает, как только энтропия становится выше пороговой величины  $\alpha$ , и длится все время, пока это условие имеет место. По мере того как под влиянием наблюдения отдельных признаков апостериорная вероятность одной из гипотез возрастает, энтропия всей системы гипотез падает. Ориентировочная реакция заканчивается, как только сигнал опознан, т. е. как только вероятность одной из гипотез стала значительно выше вероятностей других гипотез, а энтропия системы гипотез стала ниже порогового уровня. Поскольку ориентировочная реакция зависит от энтропии всей системы гипотез, безразлично, к какой группе произведено отнесение раздражителя. Важен сам факт опознавания. Но как только начинает предъявляться новый раздражитель, вероятность принадлежности его к прежней нервной модели снижается; на некоторое время все гипотезы становятся равновероятными. В этом случае энтропия возрастает и возникает ориентировочная реакция, которая прекращается тогда, когда достигается опознавание этого нового стимула.

Поскольку энтропия существенно зависит от числа гипотез, сокращение системы гипотез за счет исключения из нее тех, которые в данных условиях опыта характеризуются низкой вероятностью реализации, приводит к снижению амплитуды и длительности ориентировочной реакции. Это совпадает с явлением угасания ориентировочной реакции при многократном повторении одних и тех же раздражителей. Введение в опыт новых изображений приводит к расширению системы гипотез и увеличению энтропии, что совпадает с эффектом растормаживания ориентировочной реакции после действия нового раздражителя. По мере того как при повторении раздражителей система гипотез вновь сокращается, максимальная величина энтропии снижается, что совпадает с последующим уменьшением и полным угасанием ориентировочного рефлекса.

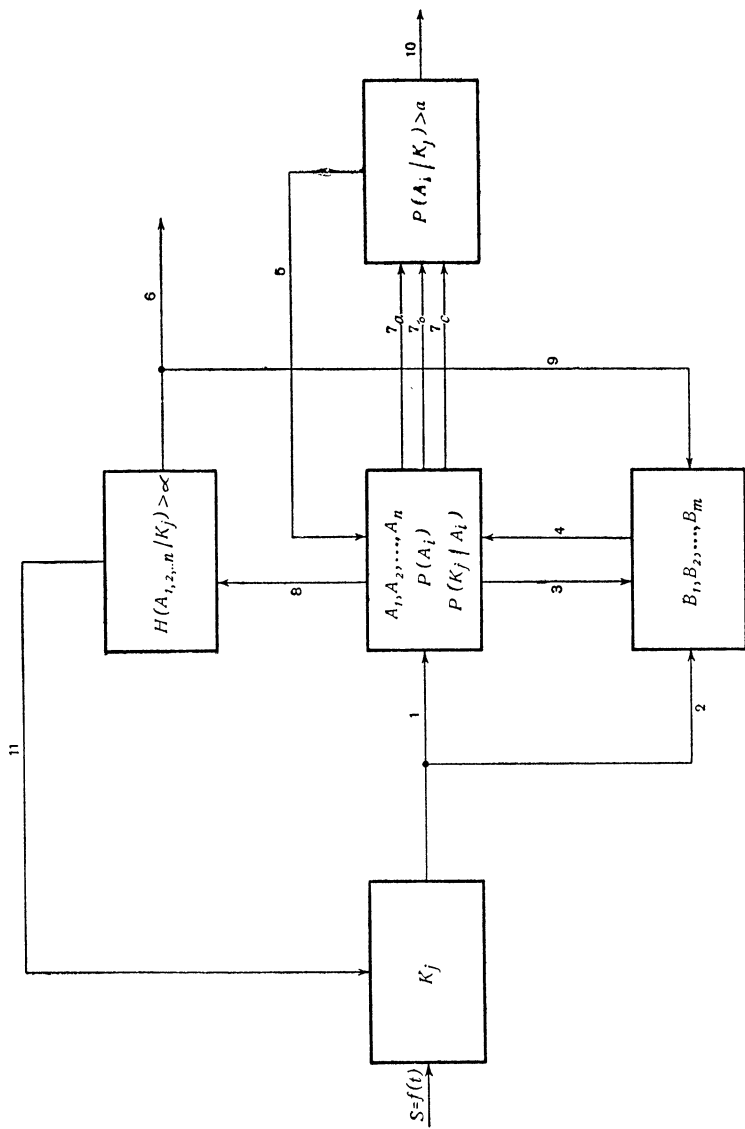


Рис. 7. Структурная схема модели, включающей опознавание стимула, регуляцию ориентировочной реакции и осуществление условного рефлекса.

Группы нервных импульсов, кодирующих афферентное раздражение, поступают (1) в систему определения апостериорных вероятностей гипотез и (2) в механизм долговременной памяти, содержащий в себе запись всех возможных образов (гипотез)  $B_1, B_2, \dots, B_n$ . Под признаком  $K$  подразумевается наличие нервных импульсов в некоторый момент времени. Система гипотез  $A_1, A_2, \dots, A_n$ , используемых при опознавании, представляет собой блок, связанный с долговременной памятью двусторонней связью; при этом гипотезы с низкой вероятностью реализации могут выводиться из системы проверяемых гипотез (3), а из долговременной памяти в эту систему могут вводиться новые гипотезы (4).

Условием вывода образа из системы проверяемых гипотез является  $P(A_i) < \gamma$ , где  $\gamma$  — пороговое значение априорной вероятности появления данного образа. Каждый образ (гипотеза) характеризуется определенными вероятностями появления признака  $K$ , т. е. величиной  $P(K_j/A_i)$ . Блок вычисления апостериорных вероятностей гипотез связан с пороговым устройством, обеспечивающим появление условной реакции (10) через  $7a, 7e, 7c$ . При достижении апостериорной вероятности значения порога  $P(A_i/K_j) \geq \alpha$  осуществляется опознавание объекта. Если данная гипотеза связана с определенной ответной реакцией, она заранее возникает как условная реакция (10). Если данная гипотеза не связана с ответной реакцией, то процесс завершается опознаванием. Блок вычисления апостериорных вероятностей гипотез связан (8) с блоком определения энтропии данной системы гипотез и с ориентировочной реакцией (6). Пока энтропия лежит выше порога  $H(A_1, 2, \dots, n/K_j) > \alpha$ , ориентировочная реакция непрерывно поддерживается. По мере того как апостериорная вероятность одной из гипотез возрастает, энтропия всей системы уменьшается и ориентировочная реакция исчезает. Это имеет место как в случае одного лишь опознавания объекта, так и в случае условной реакции на него. Каждый факт опознавания используется для уточнения априорных вероятностей появления данного образа (5). В свою очередь соотношение гипотез оперативной и долговременной памяти блока апостериорных вероятностей зависит от ориентировочной реакции (9). При ее угасании гипотезы с низкой априорной вероятностью реализации исключаются из системы проверяемых гипотез. При возникновении ориентировочной реакции в этот блок вводятся новые гипотезы из долговременной памяти. Важным компонентом системы является канал обратной связи блока вычисления энтропии с механизмом рецептора (11). Эта связь отражает влияние ориентировочной реакции на афферентные системы.

Таким образом, по мере действия раздражителя в результате отнесения раздражителя к определенной категории еще задолго до окончания подачи всей последовательности импульсов создается возможность экстраполировать знания последующих раздражений. Описываемая система работает с упреждением и позволяет экстраполировать знания раздражителей на будущее. Подсчет энтропии, увеличивающейся при любом действии нового раздражителя, позволяет количественно характеризовать ориентировочную реакцию. Уменьшение энтропии, наблюдающееся при длительном действии раздражителя или многократном применении одного и того же раздражителя, позволяет характеризовать эффект угасания ориентировочной реакции

Формирование нервной модели стимула с описываемой точки зрения включает запись сигнала в нервной системе и учет вероятности его появления.

Схематически участие нервной модели стимула в регуляции ориентировочного рефлекса и опознавании наносимого раздражителя представлено на рис. 7 и 8. Последовательность нервных импульсов, поступающих в центральную нервную систему, сличается с рядом нервных следов, представляющих

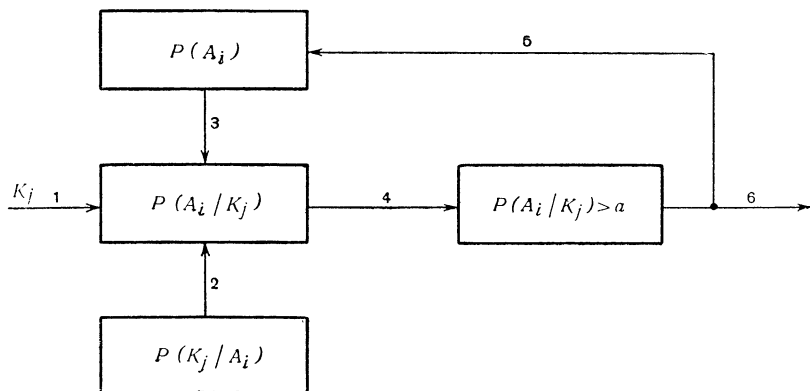


Рис. 8. Схема проверки одной из гипотез.

Приходящие сигналы  $K_j$  сравниваются с записанными вероятностями признака  $K_j/A_i$  гипотез  $A_1, A_2, \dots, A_n$  с учетом вероятности реализации данной гипотезы  $P(A_i)$ . Как только апостериорная вероятность гипотезы  $P(A_i/K_j)$  достигает порога (4), возникает опознавание. В случае если эта гипотеза связана с последующим действием, следует условная реакция (6). Факт опознавания изменяет (5) априорную вероятность гипотезы  $P(A_i)$ . При следующем появлении того же сигнала вычисление  $P(A_i/K_j)$  проводится с учетом этой новой априорной вероятности

собой систему используемых гипотез. Рассмотрим случай, когда в результате действия раздражителя апостериорная вероятность одной из гипотез стала близка к единице (что, как известно, выражает факт завершения опознавания раздражителя и окончания ориентировочной реакции). Пусть в этих условиях начнет действовать новый раздражитель. В первый момент его действия вероятность отождествления его с предшествовавшим раздражителем снижается и энтропия системы гипотез временно возрастает, возникает ориентировочная реакция, направленная на сбор информации и устранение создавшейся неопределенности. По мере действия нового раздражителя постепенно возрастает апостериорная вероятность некоторой другой гипотезы, что происходит до тех пор, пока вероятность последней не достигает порога опознавания. После этого энтропия данной

системы гипотез резко падает, ориентировочная реакция быстро уменьшается и прекращается. Когда система гипотез сокращается, амплитуда и длительность каждой ориентировочной реакции уменьшается. При этом скорость опознавания возрастает и латентный период условной реакции уменьшается. Это соответствует той наблюдаемой в эксперименте ситуации, когда при закреплении условного рефлекса уменьшается амплитуда ориентировочной реакции или даже она полностью исчезает. Если в условиях постоянно действующих стимулов предъявить новый раздражитель, то все гипотезы на некоторое время делаются равновероятными и возрастает энтропия. Это соответствует экспериментальному факту возникновения ориентировочной реакции на новый раздражитель, которая удерживается до тех пор, пока не произойдет опознавание нового объекта.

В связи со сказанным выше можно предположить, что в осуществлении механизма ориентировочного рефлекса участвуют два типа памяти: а) оперативная память, в которой сохраняется система гипотез, проверяемых в опыте, и б) долговременная память, состоящая из устойчивых записей изображений. Если вероятность появления данного изображения ниже некоторой величины, то, сохраняясь записанным, оно исключается из оперативной памяти, содержащей проверяемые гипотезы. Поэтому подсчет частот реализации различных изображений имеет важнейшее значение для регуляции состава используемых гипотез. Кроме того, существует возможность введения в систему оперативно проверяемых гипотез новых гипотез, извлекаемых из долговременной памяти. Процесс опознавания предполагает также хранение вероятностей появления признаков каждого изображения.

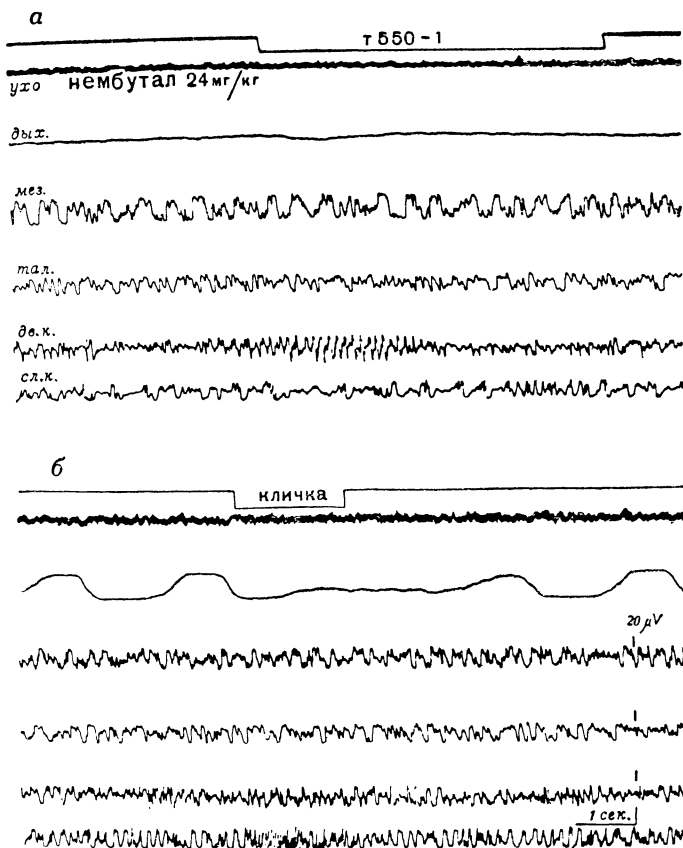
Развитая нами схема позволяет связать процесс опознавания изображений с осуществлением условного рефлекса в ситуации сложного выбора, с экстраполяцией наблюдаемых значений раздражителя на будущее и с динамикой протекания ориентировочного рефлекса. Она объясняет, в частности, угасание ориентировочного рефлекса при повторении индифферентного раздражителя и закреплении условного рефлекса; возникновение и усиление ориентировочного рефлекса при введении нового агента и возрастание латентного периода условного рефлекса, сопровождающегося усилением ориентировочной реакции при усложнении дифференцируемых раздражителей. Эффективность экстраполяции на будущее определяется тем, насколько правильно произведено отнесение неизвестного раздражителя к одному из следовых процессов — одной из нервных моделей.

## 5. Процесс моделирования на нейронном уровне

Исследование ориентировочной реакции в опытах на собаках, в зрительную кору, таламус и ретикулярную систему ствола мозга которых были вживлены электроды, в сочетании с записью движений животного и его дыхания показывает, что все основные закономерности угасания ориентировочного рефлекса, выявленные у человека, воспроизводятся и на животных. Для того чтобы ответить на вопрос, с какими структурами связана нервная модель стимула, М. М. Каримова и Д. Боуден (1962 г.) под руководством автора этих строк произвели исследования угасания ориентировочного рефлекса на простые и сложные звуковые стимулы, а также на стимулы, адресованные к разным анализаторам в условиях, когда а) ретикулярная формация была блокирована нембуталом, б) слуховая область коры была отделена (надрез по серому веществу мозга) от корковых проекций других анализаторов и в) основная масса слуховой области коры была удалена хирургически. В опытах над животными, находящимися под нембуталовым наркозом, исследователей интересовало: 1) сохранится ли в условиях опыта многокомпонентная ориентировочная реакция, 2) будет ли возникать корковая реакция активации биотоков мозга, 3) возникнет ли избирательное угасание реакции на элементарные и комплексные раздражители.

Опыты показали, что в состоянии нембуталового сна исчезает многокомпонентность ориентировочной реакции, прежде всего пропадают ее соматические компоненты (движение ушей животного), но локальная активация слуховой коры при действии звуковых стимулов сохраняется; при этом активация слуховой коры обнаруживает угасание, специфически связанное с параметрами стимула (см. рис. 9). Это свидетельствует о том, что и формирование нервной модели стимула, и выработка сигналов рассогласования, и активация могут происходить на корковом уровне, а не в ретикулярной системе мозга.

Отделение слуховой области коры от остальной ее части показало, что транскортикальные связи не оказывают влияния ни на число компонентов ориентировочной реакции, ни на специфичность явления угасания рефлекса при действии элементарных и комплексных раздражителей даже в том случае, если они относятся к разным анализаторам. Это говорит о том, что транскортикальные связи не имеют существенного значения в формировании нервной модели стимула, и это справедливо даже в том случае, если модель отражает



**Р и с. 9. Ориентировочная реакция в виде локальной активации биотоков слуховой области коры мозга собаки при действии раздражителя — ее клички; собака находится в состоянии нембуталового сна.**

Сверху вниз на рисунках *а* и *б*: отметка звукового раздражителя, действующего на собаку по кличке Верный; ЭМГ (электромиограмма) мышц уха; кривая дыхания; кривая биотоков среднего мозга; кривая биотоков таламуса; кривая биотоков двигательной области коры; кривая биотоков слуховой области коры.

*а*. После длительного угашения ориентировочной реакции на звук частотой в 500 *гц* и силой в 60 *дб* изменение частоты до 550 *гц* на фоне нембуталового сна (через 15 мин. после введения) не вызывает ориентировочной реакции. Во всех каналах регистрации биотоков видны медленные волны.

*б*. Кличка, произнесенная экспериментатором в микрофон, связывающий его с собакой, находящейся в звуконепроницаемой камере, вызывает на фоне продолжающегося нембуталового сна (спустя 51 мин. после введения) отчетливую группу быстрых колебаний, локализованную в слуховой области, и одновременно задержку дыхания. Соматическая реакция движения уха отсутствует, собака не пробуждается. Возможность локальной активации слуховой коры в условиях действия нембутала, подавляющего функционирование ретикулярной системы, показывает, что специфический путь проведения возбуждения к слуховой области коры сохраняется и что во сне продолжают работать корковые механизмы сличения афферентных раздражений с нервной моделью стимула. Появление корковой активации в отсутствии активации ствола мозга показывает, что может существовать собственный механизм локальной активации коры

мультисенсорное раздражение. Сохранение многокомпонентности ориентировочной реакции при обрезании слуховой коры по серому веществу мозга показывает, что механизм эфферентной интеграции не требует участия транскортикальных связей. Двухсторонняя экстрипация основной массы слуховой коры также не нарушает многокомпонентности ориентировочной реакции. В этих условиях, если раздражители адресованы разным анализаторам, процессы интеграции раздражений не нарушаются и специфичность угасания рефлекса сохраняется. Однако избирательное угасание ориентировочной реакции в отношении определенного порядка звуковых сигналов при удалении основной массы слуховой области коры существенно страдает.

Эти экспериментальные результаты дают основания для следующих заключений. Эфферентные механизмы ориентировочного рефлекса, обеспечивающие многокомпонентную реакцию, связаны, по-видимому, с ретикулярной системой ствола мозга. На корковом уровне механизм образования нервной модели комплексного стимула, поступающего в мозг от разных анализаторов, не требует транскортикальных связей и представлен (как это считал А. Б. Коган<sup>1</sup>) во многих точках коры (видимо, при участии специальных «интегрирующих» нейронов, которые получают нервные импульсы от разных органов чувств). Наиболее важным фактом является регистрация локальной реакции коры на фоне подавления ретикулярной системы мозга. Существование локальной реакции активации позволяет говорить о том, что на корковом уровне существуют все механизмы, необходимые для угасания и вызова ориентировочной реакции: механизм проведения афферентных сигналов, механизм экстраполяции, механизм компарации афферентных сигналов с сигналами экстраполяции и механизм активации как один из компонентов ориентировочного рефлекса.

Сопоставляя закономерности угасания ориентировочной реакции с имеющимися в литературе данными относительно типов корковых нейронов, можно выдвинуть предположение, что каждая из отдельных операций, осуществляющихся в системе ориентировочного рефлекса, связана с нейронами особого типа. Один тип нейронов, участвующих в ориентировочном рефлексе, — это специфические афферентные нейроны. Особенность этих нейронов в том, что их реакции не угасают.

---

<sup>1</sup> См. А. Б. Коган, О структуре замыкательного аппарата условного рефлекса, «Журнал высшей нервной деятельности», т. XI, вып. 4, 1961, стр. 651—659.



К нейронам этого типа относятся нейроны, отвечающие разрядом на свет (так называемые нейроны типа *B*) и на темноту (нейроны типа *D*), обнаруженные в зрительной области коры головного мозга кошки немецким исследователем Юнгом<sup>1</sup>. Вторым типом нейронов — это нейроны, ответственные за механизм экстраполяции (их можно назвать нейронами экстраполяции). Нейроны этого типа вначале не отвечают на раздражения, однако по мере закономерного повторения раздражителей они начинают вырабатывать сигналы, причем делают это, так сказать, заранее, т. е. еще до поступления к ним очередного стимула. Близкий к описываемому ответ нейрона при многократном действии светового стимула наблюдал американский ученый Морелл (1962 г.)<sup>2</sup>. В опытах Морелла нейрон обнаружил реакцию на время действия стимула уже после прекращения ритмического раздражения. Третий тип нейронов — это нейроны сравнения; так можно назвать нейроны, относительно которых есть основание предположить, что они реализуют процедуру сравнения афферентных импульсов с экстраполируемыми импульсами. Генерация нервных импульсов нейроном этого типа имеет место тогда, когда экстраполируемое и действительное значение раздражителя не совпадают. Эквивалентом нейрона сравнения можно считать так называемые клетки внимания, обнаруженные Галамбосом и Хьюбелом (1959 г.)<sup>3</sup> в слуховой области коры мозга кошки. Особенность нейронов сравнения в том, что они перестают отвечать на повторяющийся раздражитель, реагируя вновь лишь при изменении стимула.

С целью изучения нейронной организации процесса моделирования свойств раздражителя в системе ориентировочного рефлекса О. С. Виноградова и Д. Линдслей (1963 г.)<sup>4</sup> под руководством автора данной статьи изучали ответы отдельных нейронов зрительной коры кролика на световые вспышки и звуковые щелчки. Большая часть реагирующих нейронов представляла собой специфические зрительные афферентные

---

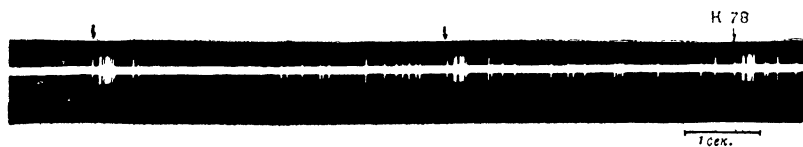
<sup>1</sup> R. Jung, Neuronal integration in the visual cortex and its Significance for Information in Sensory Communication. Rosenblith W. A. MIT Press, N 4, 1962, p. 627.

<sup>2</sup> Фр. Морелл, Действие поверхностной анодной поляризации на двигательную реакцию и на характер разрядов отдельных корковых клеток, «Физиологический журнал СССР», т. XLVIII, № 3, 1962.

<sup>3</sup> D. Hubel, R. Gulampos, C. Heuson, A. Pupert, Attention Units in the Auditory cortex, «Science», vol. 129, 1959, p. 12—74.

<sup>4</sup> О. С. Виноградова и Д. Ф. Линдслей, Угашение реакций на сенсорные раздражители в одиночном нейроне коры зрительной области неанестезированного кролика, «Журнал высшей нервной деятельности» № 2, 1963.

нейроны, реакции которых не изменяются на протяжении длительного повторения раздражителя (см. рис. 10). В отношении зрительной области коры мозга кролика опыты подтвердили существование клеток внимания. Эти клетки, отвечающие



Р и с. 10. Пример ответов специфического афферентного нейрона зрительной коры кролика на вспышку света; реакция возникает без признаков угасания после сотен применений стимула.

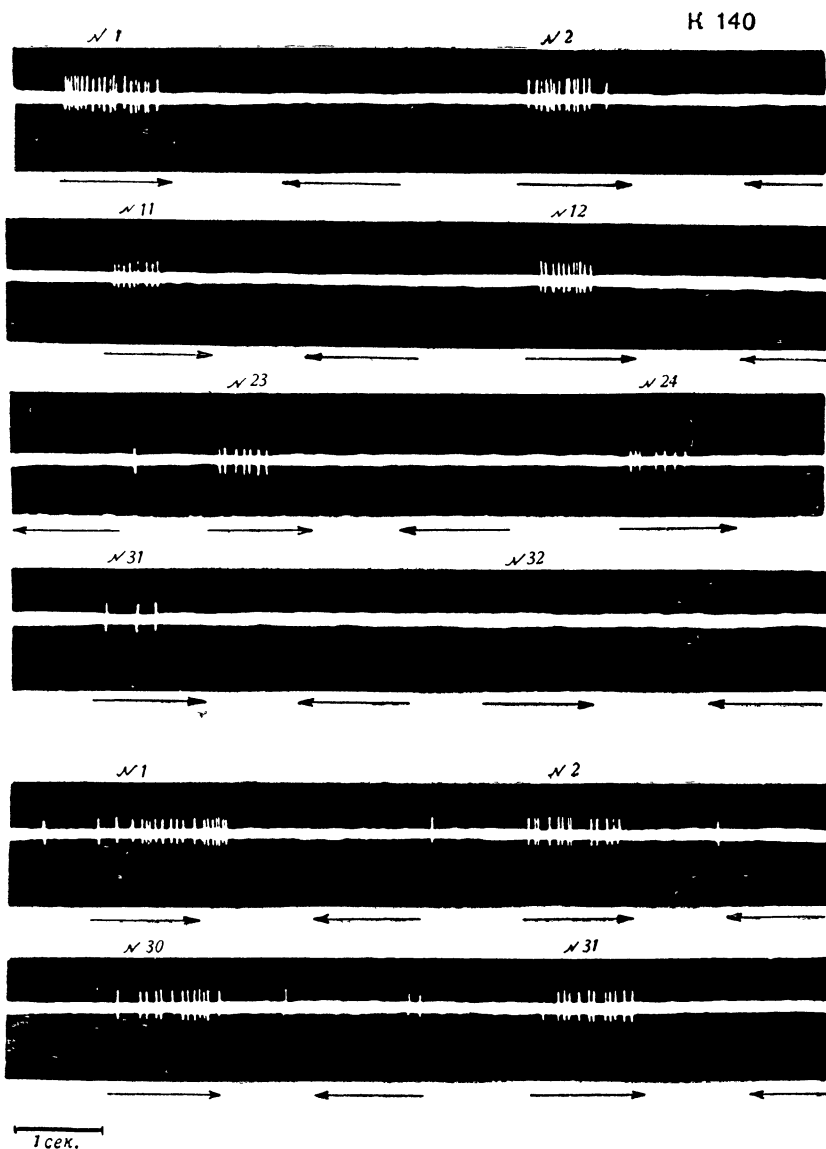
Стрелками отмечены моменты раздражения, за каждым из которых следует группа нервных импульсов высокой амплитуды. Импульсы более низкой амплитуды, не изменяющиеся при действии вспышки, принадлежат другому нейрону, не реагирующему на данное раздражение. Обращает на себя внимание устойчивость структуры залпа импульсов специфического афферентного нейрона: короткая пачка импульсов и более длительный разряд, разделенные промежутками

«залпом» импульсов на первый стимул, в дальнейшем по мере повторения раздражителя постепенно перестают реагировать (см. рис. 11).

Кроме этих уже описанных ранее нейронов были обнаружены нейроны коры, накапливающие торможение по мере повторения стимула. Это вырабатываемое нейронами торможение проявляло себя в подавлении спонтанной ритмики нейрона (вплоть до ее полного исчезновения) (см. рис. 12). При этом все изменения раздражителя, нарушая это вырабатываемое торможение, приводят к восстановлению спонтанной ритмики нейрона. Торможение нейронов этого типа имеет своим источником, по-видимому, импульсы экстраполяции (это соответствует нашему предположению относительно использования экстраполяции для активной блокировки корой головного мозга путей, ведущих к центрам ориентировочного рефлекса)<sup>1</sup>.

Кроме реакций нейронов, прямо включенных в систему ориентировочного рефлекса, следует учитывать эффект обратного влияния ориентировочной реакции на специфические афферентные нейроны и нейроны, не отвечающие на раздражители в данных условиях опыта. Действие ориентировочного рефлекса на «отвечающие» и «неотвечающие» нейроны различно. «Отвечающие» нейроны при возникновении ориентировочной реакции снижают фоновую активность так, что отношение сигнал/шум возрастает. «Неотвечающие» нейроны

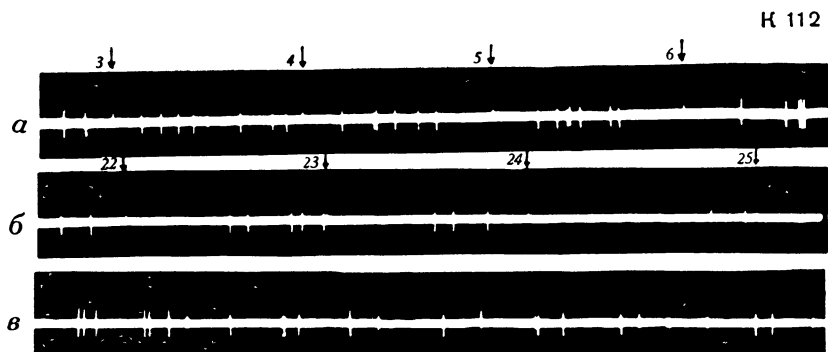
<sup>1</sup> Что касается прямого наблюдения нейронов, генерирующих импульсы экстраполяции, то в проведенных опытах его достичь не удалось.



Р и с. 11. Пример реакции нейрона внимания зрительной части коры мозга кролика.

Клетка носит условный номер 140. Номера, помещенные сверху осциллограмм, указывают отдельные применения стимула. Направления движения светового стимула в поле зрения кролика обозначены стрелками. Нейрон не обладает спонтанной активностью, разряд возникает только при движении света в поле зрения в одном из двух возможных направлений (а, б). По мере повторения действия одного и того же раздражителя плотность импульсов в пачке, а также общее число импульсов уменьшаются (в) и в конце концов реакция полностью исчезает (г). Введение нового зрительного раздражения вызывает восстановление реакции при движении его в том же направлении (д, е).

в тех же условиях усиливают спонтанные разряды, что должно вести к уменьшению отношения сигнал/шум. Эти изменения частоты спонтанных разрядов исчезают по мере повторения

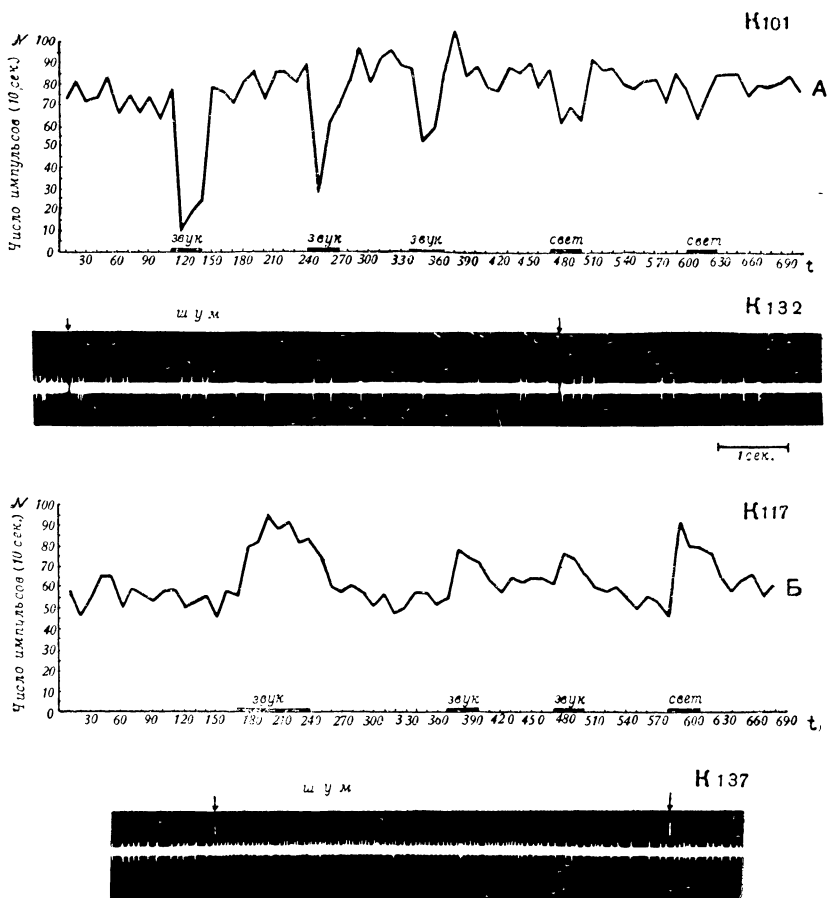


Р и с. 12. Пример реакции нейрона зрительной коры кролика, накапливающего торможение по мере повторения светового раздражителя.

Стрелками отмечены действия раздражителя, цифрами — номера его применений. При первых применениях раздражитель не вызывает заметного изменения фоновой активности (а); постепенно, однако, зона молчания спонтанной активности, следующая после каждого раздражителя, увеличивается до тех пор, пока все промежутки не оказываются лишенными разрядов (б). При прекращении раздражения фоновая ритмика восстанавливается постепенно (в)

раздражителя в соответствии с законами угасания ориентировочной реакции на макроуровне (см. рис. 13). Особенно интересно сравнивать эти реакции с реакцией типа депрессии альфа-ритма, характеризующей явления активации. Депрессия альфа-ритма и изменение спонтанной ритмики нейронов являются своеобразными проявлениями ориентировочной реакции: первое, видимо, связано с повышением активности клеток нейроглии, ответственных за энергетическое снабжение нейронов, а второе — с изменением синаптической передачи нейронов. Возможно, что нейроны, для которых получение информации не является в данное время необходимым, снижают отношение сигнал/шум. Наоборот, нейроны, для которых существенно необходимо поступление к ним информации, повышают отношение сигнал/шум.

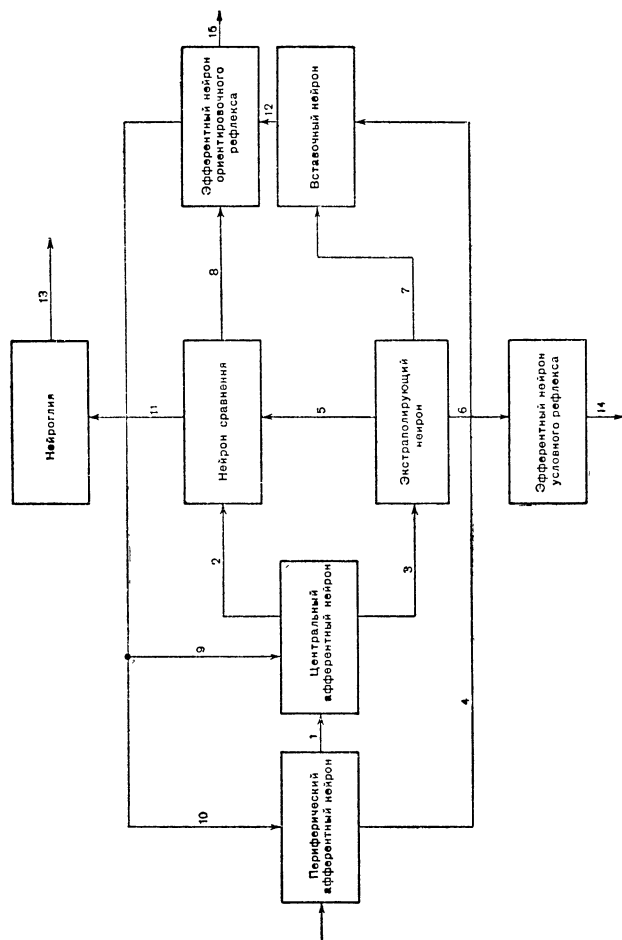
Учитывая всю сумму данных, относящихся к нейронной организации ориентировочного рефлекса, можно составить следующую схему нейронной организации ориентировочного рефлекса (см. рис. 14). Схема включает специфические афференты, передающие информацию к нейронам экстраполяции, нейронам сравнения и исполнительным клеткам ориентировочного



Р и с. 13. Пример двух типов влияния ориентировочной реакции на спонтанную импульсацию нейронов:

А — нейрон, отвечающий группой импульсов на вспышку света; Б — нейрон, не отвечающий на вспышку.

На рисунке приведены два способа анализа тонических изменений ритмики нейрона: методом подсчета числа импульсов за каждые 10 сек. с помощью пересчетного устройства и методом фоторегистрации реакций. Действие длительного звука и света вызвало в клетке № 101 снижение интенсивности спонтанной импульсной активности. По мере повторения раздражителя реакция угасала так, как это обычно наблюдается при реакции макроскопических ориентировочных реакций (КГР, сосудов и др.). Для клетки № 132 наблюдалось подавление импульсной активности нервных импульсов на фоне шума. В клетках № 117 и 137, не отвечающих группой импульсов при действии звука и света, наблюдалась реакция в виде возрастания спонтанной активности. Возрастание спонтанной активности по мере постарения раздражителя делалось все меньше и меньше, обнаруживая эффект угасания, характерный для ориентировочного рефлекса на макроуровне



Р и с. 14. Схема нейронной организации ориентировочного рефлекса:

1 — аксон периферического афферентного нейрона; 2 — аксон афферентного нейрона коры, ведущий к нейрону сравнения; 3 — аксон афферентного нейрона коры, ведущий к экстраполирующему нейрону; 4 — коллатераль периферического афферентного нейрона, ведущая к эфферентным нейронам ориентировочного рефлекса через вставочный нейрон; 5 — аксон экстраполирующего нейрона, ведущий к нейрону сравнения; 6 — аксон экстраполирующего нейрона, ведущий к центру условного рефлекса; 7 — аксон экстраполирующего нейрона с системой гиперполязирующих синапсов, с помощью которых осуществляется условнорефлекторная блокада импульсов на пути к эфферентным нейронам ориентировочного рефлекса; 8 — аксон нейрона сравнения, передающий сигнал рассогласования к эфферентному нейрону ориентировочной реакции; 9 и 10 — аксоны эфферентного нейрона ориентировочной реакции, связанные соответственно с регулицией спонтанной активности афферентного нейрона коры (механизм изменения отношения сигнал/шум) и с регулицией периферического афферентного нейрона; 11 — аксон нейрона сравнения, влияющего на клетки глии; 12 — аксон вставочного нейрона; 13 — реакция клеток глии; 14 — эфференты условного рефлекса; 15 — эфференты ориентировочного рефлекса

рефлекса. Импульсы, вырабатываемые экстраполирующими нейронами, используются: а) для осуществления механизма условного положительного рефлекса на время и б) для активного торможения нейронов, не вовлеченных в реакцию. Частным случаем такого тормозного влияния можно считать блокаду афферентных импульсов, поступающих к афферентным клеткам ориентировочного рефлекса. Нейроны сравнения связаны с клетками нейроглии и служат для изменения уровня активации в определенных участках мозга. Регулируя отношение сигнал/шум, ориентировочный рефлекс обеспечивает направленную селекцию сигналов, осуществляя одну из основных функций информационного регулятора.

Рассматриваемая схема взаимоотношения нейронов предполагает следующие основные типы нейронов: афферентные нейроны, нейроны экстраполяции, нейроны сравнения, афферентные нейроны ориентировочного рефлекса и вставочные тормозящие нейроны. В качестве активирующего механизма предполагается участие нейроглии. Если принять, что экстраполирующие нейроны могут оканчиваться на вставочных нейронах с гиперполязующими синапсами, то следует предположить, что механизм экстраполяции может использоваться как для условного возбуждения, так и для условной блокады импульсов, а также для торможения других нейронов. Влияние ориентировочного рефлекса на клетки глии, а также на другие нейроны обеспечивает тонические реакции в виде снижения или повышения спонтанной активности медленных колебаний биопотенциалов коры и изменения импульсной активности нейронов. Возможно, однако, что сравнение и экстраполяция осуществляются механизмами, состоящими из совокупностей особым образом взаимодействующих нейронов, а не только отдельными специализированными нейронами.

Согласно предлагаемой схеме, при многократном применении раздражителя происходит следующее. Во-первых, осуществляется предвосхищение будущего значения сигнала, которое составляет основу выработки условного рефлекса на время в виде возбуждения или активного торможения реакции. Во-вторых, имеет место совпадение афферентных импульсов и экстраполируемых импульсов, в результате чего исчезают импульсы рассогласования, прекращается ориентировочная реакция, а следовательно, исчезает и ее обратное влияние на синаптическую передачу в афферентных нейронах, изменяющее отбор информации. При изменении раздражителя нарушается экстраполяция, возникают импульсы рассогласования, возбуждается ориентировочный рефлекс, который изменяет условия проведения сигналов в афферентных нейронах.

## 6. Экстраполирующие нейроны и молекулярный механизм памяти

Вывдигая представление о специальных нейронах, способных предвосхищать будущее значение сигнала, мы допускаем, что именно эти нейроны обладают способностью фиксировать следы раздражений. Действительно, допущение механизма памяти во всех нейронах, в том числе и в афферентных, противоречит фактам. Механизм памяти существенно затруднил бы работу афферентных нейронов, задача которых связана с передачей текущей информации.

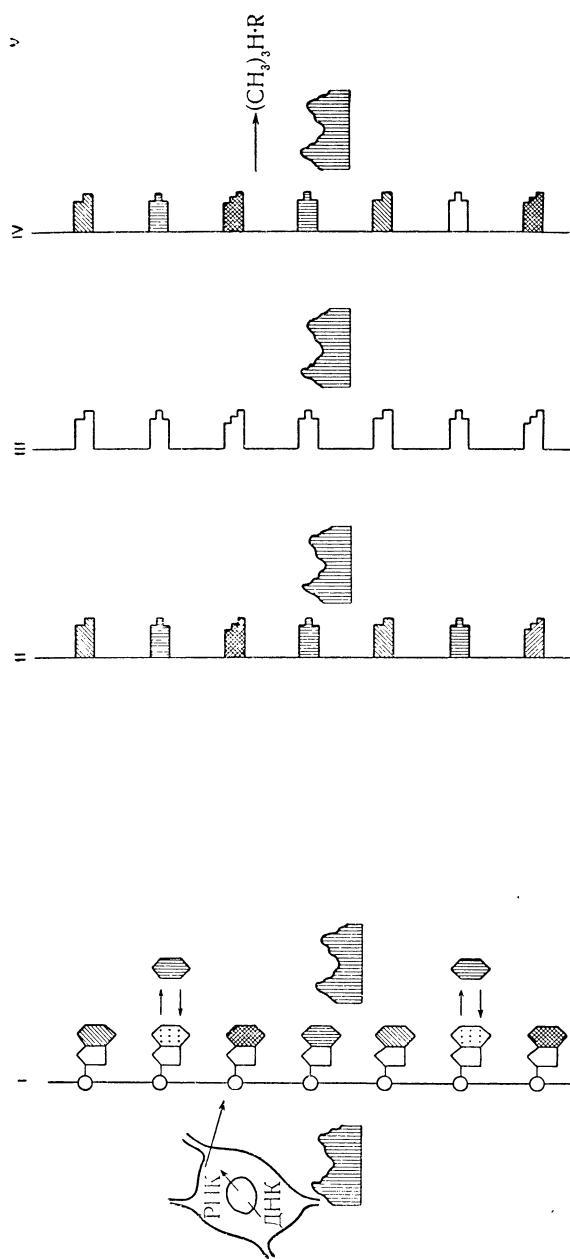
Возможность существования субклеточного механизма памяти наиболее подробно рассматривается Хиденом (1960 г.)<sup>1</sup>. Наблюдая усиленную продукцию нуклеопротеидов в связи с повышением уровня нервной активности, он пришел к выводу, что импульсная модуляция, составляющая основу кода, используемого нейроном при передаче и приеме информации, вызывает специфические изменения в расположении оснований молекулы рибонуклеиновой кислоты (РНК); это, по его мнению, составляет первый шаг возникновения внутринейронного следа. Поскольку последовательность оснований молекулы РНК определяет последовательность расположения аминокислот белковой молекулы, можно предположить, что вторым в формировании следа памяти является возникновение специфического белка, соответствующего модифицированной молекуле РНК. Третий шаг связан с взаимодействием приходящей импульсации с образовавшимся специфическим белком. Если частота нервных импульсов соответствует специфически измененному белку, то происходит его расщепление. На четвертом шаге в результате расщепления специфического белка происходит, по-видимому, высвобождение веществ, облегчающих прохождение сигналов через синапс. В результате нейрон оказывается специфически «настроенным» на параметры раздражителя, представленные в импульсном коде, и в силу этого по-разному отвечает на новую и на уже известную последовательность импульсов (см. рис. 15).

Молекулярная гипотеза памяти предполагает, что поступающая в мозг информация одновременно фиксируется в целом ряде нейронов, обеспечивая высокую надежность работы биологических систем. Это хорошо объясняет тот факт, что при удалении даже значительных участков коры мозга память существенно не нарушается. Молекулярная гипотеза памяти

---

<sup>1</sup> H. Hyden, Satellite Cells in the Nervous System, «Scientific American», vol. 205, N 6, p. 62—70.





Р и с. 15. Схема, показывающая связь частотного кода нервных импульсов с молекулярными изменениями на субклеточном уровне (из Хидена):

ДНК управляет одновременным механизмом синтеза белков посредством РНК. РНК претерпевает специфические изменения в соответствии с частотой нервных импульсов (I). Это в свою очередь ведет к синтезу специфического белка (II), который может быть активирован в комбинации с дополнительной молекулой РНК (III); в результате высвобождается вещество, обладающее постсинаптической клеткой (IV). Таким образом, импульсный код связан с кодом РНК, что позволяет записывать в клетке большое число единиц информации. В результате клетка по-разному отвечает на известную и новую последовательность импульсов

позволяет объяснить также чрезвычайно устойчивые следы памяти, обнаруженные при обследовании возбудимости коры больших полушарий пациентов с помощью импульсов электрического тока. Вместе с тем молекулярная гипотеза памяти не содержит в себе прямых указаний на механизм экстраполяции, не сводящийся лишь к сохранению следов, а предполагающий их активное воспроизведение.

Наиболее трудным вопросом, связанным с молекулярным механизмом памяти, является вопрос о способах перевода информации, зафиксированной на молекулярном уровне, в специфически организованные последовательности нервных импульсов. Одно из возможных предположений о природе этого перевода основано на представлении об избирательной реактивности нейрона в зависимости от организации молекулы РНК и на данных, касающихся циркуляции нервных импульсов в замкнутых цепях нейронов. Пусть на нейрон, обладающий специфически организованной молекулой РНК и включенный в замкнутую цепь нейронов, действует случайная последовательность нервных импульсов. Поскольку нейрон с памятью будет избирательно отвечать лишь на определенную частоту нервных импульсов, постольку в результате многократного прохождения возбуждения и «последовательной фильтрации» нервных импульсов вероятность появления нервных импульсов, не связанных со специфически измененной молекулой, в замкнутой цепи нейронов уменьшится; в результате частота спонтанной ритмики возбуждения в цепи нейронов перестроится в соответствии с частотой, записанной молекулярным кодом на уровне отдельного нейрона. Эта гипотеза придает особое значение циркуляции нервных импульсов в замкнутых цепях нейронов как механизму «считывания» информации, записанной на молекулярном уровне. С этой точки зрения циркуляция нервных импульсов в цепях нейронов составляет существенно важный механизм, связывающий долговременную молекулярную память с оперативной памятью активного возбуждения.

\* \* \*

Подведем итоги. Анализ экспериментальных данных показывает, что рефлекторная деятельность опосредована сложными механизмами центральных отделов анализаторов, выполняющих функцию отражения внешней среды. Измерение величины ориентировочного рефлекса при нанесении строго контролируемых тестирующих стимулов дает возможность характеризовать свойства нервного следа и заключить о его подобии многократно наносимому раздражителю. Этот след является «нервной

моделью стимула», в которой одновременно регистрируются интенсивность, длительность, пространственное положение, размер, качественная характеристика, ритм нанесения раздражений, а также раздражения, действующие на другие органы чувств. С этой точки зрения нервная система отражает внешний мир, создавая внутреннюю модель внешней среды. Правильно отражая внешний мир, нервная модель является системой, предвосхищающей будущее значение раздражителя (экстраполяционный эффект). Соответствие внутренней нервной модели объективной действительности контролируется степенью эффективности взаимодействия организма с внешней средой. Важнейшее значение в непрерывном усовершенствовании процесса отражения имеет механизм сличения экстраполируемого нервной системой значения раздражителя с реальными афферентными сигналами, поступающими от органов чувств.

Представление об отражении как о моделировании внешней среды средствами нервной системы приводит к заключению об активном характере отражения. Критерием адекватности данной нервной модели отображаемому с ее помощью содержанию является практическая деятельность.

## Моделирование функций мозга и высшая нейродинамика

### 1. О двух разных подходах к моделированию функций мозга

Важнейшим разделом блокибернетики, изучающей процессы управления и регулирования в живой природе, несомненно, является анализ работы человеческого мозга, а ее важнейшим методом — метод математического и технического моделирования различных жизненных функций, включая высшие психические процессы. Последнее положение не должно представляться слишком смелым. «Кто изучает нервную систему, — писал Н. Винер, — не может забывать о мышлении, а кто изучает мышление, обязан постоянно помнить о нервной системе»<sup>1</sup>. К сожалению, многие современные исследователи все еще остаются глухими к этому важному практическому требованию, которое в несколько иной форме было высказано задолго до Винера и особенно настойчиво подчеркивалось великим русским ученым И. П. Павловым.

Пионерами в области анализа мышления «на уровне информационных процессов» были американские исследователи Ньюэлл, Шоу и Саймон<sup>2</sup>. Они разработали подробную программу для решения элементарных задач в области символической логики и затем сопоставили ход решения этих задач человеком и автоматической вычислительной машиной. Эта работа по замыслу ее авторов должна была выявить, какие про-

---

<sup>1</sup> *Н. Винер*, Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине, стр. 32.

<sup>2</sup> *A. Newell, J. C. Shaw and H. A. Simon*, Empirical Explorations with the Logic Theory Machine, «Proceedings of West. Joint Computer Conference», IRE, 1957, p. 248; *A. Newell, J. C. Shaw and H. A. Simon*, Elements of a Theory of Human Problem Solving, «Psychological Review» N 3, 1958, p. 151—166.

цессы участвуют в ходе решения и каковы осуществляющие их механизмы<sup>1</sup>. Вместе с тем авторы допускали в этом вопросе некоторую заведомую неопределенность. Они не изучали первные механизмы, реализующие соответствующие информационные процессы в человеческом мозгу, а относили эту задачу к «другому уровню построения теории»<sup>2</sup>. Возникает, однако, вопрос, о каких же «механизмах» говорят авторы при изложении своей концепции? Оказывается, что они имеют в виду «широкий класс механизмов, включая человеческий мозг и вычислительные машины», причем «функциональная эквивалентность» этих механизмов, по их мнению, отнюдь не предполагает эквивалентности структурной<sup>3</sup>. При каком-то условном и очень широком понимании термина *функция мозга* все это, может быть, и допустимо, но, как уже однажды подчеркнул И. П. Павлов в своем знаменитом «Ответе физиолога психологам», существует «непременная связь конструкции с динамикой»<sup>4</sup>. Необходимость «приурочения динамики к структуре» Павлов возводил даже в ранг одного из «основных принципов точного научного исследования», на который опирается рефлексорная теория<sup>5</sup>. Придерживаясь этого принципа, вполне законно поставить вопрос о том, могут ли одни и те же психические процессы (функции) осуществляться различными механизмами?

Казалось бы, теория моделирования требует положительного ответа на этот вопрос, однако нам импонирует более осторожный тезис, согласно которому различные по природе механизмы и соответствующие им различные внутренние процессы, имея некоторые общие или подобные количественные характеристики, могут приводить к одним и тем же конечным результатам. Еще более общий тезис гласит: различные по характеру причины могут иметь одинаковые или сходные следствия. В связи с этим необходимо строго различать моделирование тех или иных внешних результатов, к которым приводят скрытые жизненные процессы, и моделирование самих этих процессов. Шенноновская «мышь», как известно, «выучивает» проходимый ею лабиринт и достигает таких же конечных результатов, как и живая мышь, но механизмы, а следовательно и процессы, посредством которых достигаются эти результаты в обоих случаях, несомненно, являются различными.

---

<sup>1</sup> A. Newell, J. C. Shaw and H. A. Simon, Elements of a Theory of Human Problem Solving, «Psychological Review» N 3, 1958, p. 151.

<sup>2</sup> См. там же, стр. 163.

<sup>3</sup> См. там же.

<sup>4</sup> И. П. Павлов, Полн. собр. трудов, т. III, М. — Л., 1949, стр. 438.

<sup>5</sup> См. там же, стр. 436.

То же самое можно сказать и о большинстве попыток моделирования функций мозга, поскольку они не основываются на определенных физиологических или психофизиологических данных о соответствующих механизмах, а имитируют в той или иной форме лишь конечный продукт. Даже попытки моделирования условных рефлексов, вообще говоря, воспроизводят лишь внешнюю картину изменения реакции под влиянием совпадения во времени условного раздражителя и соответствующего «подкрепления»; фактически они не находятся ни в какой связи с имеющимися в физиологии представлениями о нервных механизмах этого сложного явления (И. П. Павлов, П. К. Анохин, Г. В. Скинни, М. Н. Ливанов, В. С. Русинов и др.). Происходит это по двум причинам: в силу недостаточности наших знаний о механизмах сложных жизненных явлений и в силу ограниченности технических средств моделирования.

Характерно, что на симпозиуме по проектированию машин, имитирующих деятельность человеческого мозга<sup>1</sup>, было признано, во-первых, что существуют «два направления, ведущие к все более точной имитации поведения человеческого мозга: следовать примеру природы или идти по путям, которыми она пренебрегла» (Эттингер), а во-вторых, что детальное знание строения и функционирования мозга может быть весьма полезным для проектирования машин (Эттингер, Маккалок, Шмитт). Еще более точно оба эти положения были сформулированы недавно В. М. Глушковым. Для моделирования столь сложных систем, как мозг человека, «необходимо лишь, чтобы были точно описаны закономерности взаимодействия всех составляющих мозг нейронов, а соответствующая программа помещалась бы в памяти машины»<sup>2</sup>. Однако выполнение обоих этих условий является пока недостижимым идеалом. Тем не менее, по словам автора, это не должно служить основанием для пессимизма. «Дело заключается в том, что вовсе не обязательно использовать формы моделирования внутренней структуры мозга. Можно в ряде случаев с успехом ограничиться моделированием внешних проявлений его деятельности. Ведь для целей автоматики (но не для целей нейрокибернетики, добавим мы от себя. — *Е. Б.*) важен, как правило, окончательный результат и совершенно безразлично, повторяет ли автомат внутреннюю структуру мозга или добивается соответствующих ре-

<sup>1</sup> Симпозиум «Проектирование машин, имитирующих поведение человеческого мозга», «Кибернетический сборник», вып. 1, 1960, стр. 61—98.

<sup>2</sup> В. М. Глушков, Сделай кибернетику подлинным помощником умственной деятельности человека, «Техника молодежи» № 6, 1962, стр. 29.

зультатов другими способами. Для современного этапа развития кибернетики характерен именно такой внешний подход к вопросам моделирования умственной деятельности человека»<sup>1</sup>. Кстати сказать, неправильно было бы думать, что с чисто технической точки зрения такой путь является мало перспективным.

Из сказанного, однако, вовсе не следует, будто мы не должны работать над разрешением первой трудной проблемы, значение которой едва ли можно переоценить. Главная задача нейрокибернетики, как ее понимают советские авторы С. Н. Брайнес, А. В. Напалков, В. Б. Свечинский и другие, как раз состоит в том, чтобы расширять и подкреплять метод моделирования систематическими экспериментальными исследованиями деятельности мозга. В самом деле, чем лучше мы знаем моделируемый объект, тем успешнее должны быть попытки его математического и технического моделирования.

Трудами Л. Г. Воронина и А. В. Напалкова<sup>2</sup> был выявлен ряд новых фактов и закономерностей, которым подчиняется процесс образования сложных цепей условных рефлексов у животных и человека. Последнее позволило дать содержательное описание нескольких общих алгоритмов работы мозга, формализовать некоторые из них и осуществить попытку их технической реализации с помощью электронного автомата<sup>3</sup>. Не вдаваясь в детали этих интересных исследований, которые продолжаются до настоящего времени, нам хотелось бы лишь вкратце коснуться используемого этими авторами понятия алгоритмов работы мозга. Дело в том, что алгоритмизацией различных форм деятельности человека нередко занимаются педагоги и психологи, оставляя без внимания исследование функций мозга (например, в целях программированного обучения или в инженерной психологии)<sup>4</sup>. То же самое можно сказать о работах многих математиков и инженеров, занимающихся передачей некоторых функций человека машинам. Все это возможно потому, что хотя деятельность человека при

---

<sup>1</sup> В. М. Глушков, Сделать кибернетику подлинным помощником умственной деятельности человека, «Техника молодежи» № 6, 1962, стр. 29.

<sup>2</sup> См. Л. Г. Воронин и А. В. Напалков, К методике изучения высшей нервной деятельности человека, «Доклады АПН РСФСР» № 2, 1960; они же, Методические приемы образования сложных систем двигательных условных рефлексов у животных, «Журнал высшей нервной деятельности» № 5, 1959.

<sup>3</sup> См. С. Н. Брайнес, А. В. Напалков и В. Б. Свечинский, Нейрокибернетика, стр. 83—87.

<sup>4</sup> Конечно, только будущее покажет, насколько возможна успешная разработка проблем прикладной психологии без анализа деятельности мозга.

любых обстоятельствах управляется работой мозга, но между описанием внешней стороны поведения и анализом механизмов работы мозга, как уже отмечалось, имеется огромная разница. Первое легко достижимо без второго, хотя обратное не всегда имеет место. Так, например, А. А. Ляпунов и Г. А. Шестопал предложили логическую систему алгоритма деятельности диспетчера железной дороги<sup>1</sup>, а В. Н. Пушкин — аналогичную схему «умственной деятельности» дежурного по станции<sup>2</sup>. При этом авторы совершенно не использовали каких-либо данных о строении и работе мозга, что видно хотя бы из перечня основных операторов, входящих в состав построенных ими алгоритмов. Так, например, в работе В. Н. Пушкина встречаются операторы «приема» поезда, «задержки отправления», «запроса соседней станции», «актов маневровой работы»<sup>3</sup>. Совершенно очевидно, что соответствующие сложные операции могут осуществляться дежурным по станции многими способами, т. е. при посредстве различных мозговых процессов, о которых составитель алгоритма может не иметь никакого, даже самого отдаленного, представления. Следовательно, такой алгоритм не является алгоритмом работы мозга. Он основывается на чисто внешнем, результативном расчленении изучаемой деятельности, и его нет надобности связывать с какими-либо психологическими или физиологическими понятиями.

Совсем иначе обстоит дело в нейрокибернетике. Эта отрасль науки использует математические и технические методы кибернетики именно в целях изучения работы мозга, а для этого нет других путей, кроме исследования строения и работы самого материального органа психики всеми доступными современной науке средствами, в том числе и средствами технического моделирования. При таком подходе к вопросу естественно возникает потребность выяснить, хотя бы в самых общих чертах, содержание понятия *алгоритм работы мозга*.

В кибернетике под алгоритмом решения задач по переработке информации обычно понимают объединение элементарных актов и проверяемых логических условий, которые при любых начальных данных обеспечивают получение правильных ответов<sup>4</sup>. Для того чтобы это определение можно было

---

<sup>1</sup> См. А. А. Ляпунов и Г. А. Шестопал, Об алгоритмическом описании процессов управления, «Математическое просвещение» № 2, 1957.

<sup>2</sup> См. В. Н. Пушкин, Некоторые вопросы психологии управления производственным процессом на железнодорожном транспорте, «Вопросы психологии» № 3, 1959, стр. 66—76.

<sup>3</sup> См. там же, стр. 74.

<sup>4</sup> См. А. А. Ляпунов, О некоторых общих вопросах кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 1, 1958, стр. 5—22.



перенести в интересующую нас область и применить к механизмам работы мозга, необходимо договориться о том, что следует понимать под элементарными актами нервной деятельности (здесь имеется в виду высшая нервная деятельность) и что может быть принято в качестве эквивалента операций, проверяющих логические условия.

По первому пункту только одно требование представляется нам безусловным — это невозможность ограничиться чисто результативными описательно-психологическими понятиями вроде *узнавания, различения, сравнения, принятия решения* и т. п., ибо без знания механизмов этих актов совершенно невозможно представить себе, что именно и каким образом могут делать соответствующие «бессубстратные» операторы в реальной модели. Поэтому за каждым оператором алгоритма работы мозга, если только этот термин употреблять без натяжек, необходимо должны мыслиться такие элементарные и, следовательно, могущие повторяться при различных условиях психофизиологические акты, которые, по выражению Павлова, накладываются на известные (или гипотетические) мозговые структуры. Таковы, например, акты рецепции определенных сигналов, поступающих в зрительный или слуховой отдел коры, акты воспроизведения различных условных связей, центрального торможения определенных движений и т. п.

В отношении реакций мозга, отвечающих понятию проверки логических условий, пока можно высказать следующее. В технических системах управления потоком информации сигналы условного или безусловного переходов обычно получаются в результате совместного действия различных блоков, выполняющих элементарные операции, например дешифратора кода операций и различного рода взаимосвязанных вентилей<sup>1</sup>. Аналогичным образом и при описании работы высших отделов мозга кроме сравнительно элементарных актов типа рецепции сигналов и воспроизведения условных связей необходимо допустить существование более сложных операций в а к т и в н о с т и этих актов в ходе одновременного и последовательного поступления нервных импульсов в одни и те же области мозга (высшая нейродинамика). Ввиду этого наряду с проблемой моделирования условного рефлекса или стереотипных цепей условных рефлексов уже сейчас нужно поставить чрезвычайно важный вопрос о моделировании различных форм

---

<sup>1</sup> См. А. И. Кигов и Н. А. Криницкий, Электронные цифровые машины и программирование, М., 1961, стр. 159.

взаимодействия временных связей в сложных системных реакциях<sup>1</sup>.

В связи со сказанным сделаем одно замечание более общего характера. Необходимо иметь в виду, что существуют два разных пути моделирования сложных динамических систем и что это обусловлено наличием капитальных различий в самой природе моделируемых объектов. Суть этих различий заключается в следующем. На одной стороне мы имеем весь внешний мир с его бесконечным разнообразием свойств и закономерных зависимостей, на другой — только одну, но совершенно своеобразную часть этого мира, а именно живой мозг с присущим ему свойством психического отражения окружающей действительности во всем ее многообразии. Однако нельзя ставить знака равенства между моделированием тех или иных объективных отношений во внешней среде и моделированием разных способов (а следовательно, и разных механизмов) отражения этих отношений в человеческом мозгу.

Некоторые современные исследователи считают возможным говорить о нервных процессах при восприятии и обучении как о создании внутренней модели внешнего мира (Е. Н. Соколов, К. Штейнбух, А. В. Напалков и др.). С этой точки зрения моделирование мозговых психофизиологических процессов, отражающих внешний мир, есть как бы вторичное моделирование. В последнем случае мы имеем дело не с искусственными моделями внешнего мира, а с моделями процесса отражения и преобразования этого мира в нервной системе, т. е. с моделями его естественных моделей. Строить такие модели, не обращаясь к детальному изучению мозговых процессов, очевидно, невозможно. Вот почему можно согласиться с утверждением, что «многократный последовательный переход от экспериментального изучения мозга к созданию и исследованию электронной модели» является «одной из основных особенностей метода алгоритмического анализа работы мозга»<sup>2</sup>.

## 2. О методике экспериментального исследования

Отправляясь от высказанных выше положений, мы поставили перед собой две задачи: 1) использовать в целях моделирования функций мозга материал,

---

<sup>1</sup> См. Е. И. Бойко, Взаимодействие условнорефлекторных процессов в сложных системных реакциях, «Вопросы изучения высшей нейродинамики в связи с проблемами психологии», М., 1957.

<sup>2</sup> А. В. Напалков и М. И. Бобнева, Анализ информационных процессов мозга человека, «Вопросы психологии» № 6, 1962, стр. 40.

полученный нами при исследовании высшей нервной деятельности человека; 2) сделать попытку алгоритмизации некоторых типичных для человека форм реакций и ответов на словесные и непосредственные (световые) сигналы. Согласно А. А. Ляпунову, основным методом кибернетики является метод алгоритмического описания управляющих систем<sup>1</sup>. Естественно, что на нынешнем этапе исследований мы были вынуждены ограничить свою задачу средствами той области, которую академик А. И. Берг называет теоретической кибернетикой с ее логико-математическим аппаратом<sup>2</sup>, а профессор В. В. Солодовников обозначает как аналитическую кибернетику, которая занимается анализом «информационных процессов в любых объектах с целью их алгоритмизации...»<sup>3</sup>. Дальнейшую работу по детальному программированию интересующих нас алгоритмов в целях их технической реализации и последующего уточнения можно считать задачей ближайшего будущего.

С 1946 г. мы используем в качестве экспериментальной модели при исследовании высшей нервной деятельности человека различные ряды двигательных реакций, вызываемых с помощью совместного действия двоякого рода раздражителей: 1) предварительной словесной инструкции и 2) последовательных вспышек маленьких электрических ламп, автоматически включаемых на пульте через определенные интервалы времени и играющих роль «пусковых сигналов» к движениям испытуемых (нажимаем на ключи)<sup>4</sup>.

Возникающее при этом взаимодействие возбуждений в корковых проекциях словесных и непосредственных раздражителей закономерно приводит к образованию различных систем временных связей, которые в свою очередь обуславливают собой различные алгоритмы работы мозга.

Попутно необходимо подчеркнуть один очень важный момент, нередко выпадающий из поля зрения исследователей. Обязательная детерминированность изучаемых нами реакций со стороны двух сигнальных систем (вербальной и непосредственной) является характернейшим признаком собственно человеческих форм высшей нервной деятельности и с самого

---

<sup>1</sup> См. А. А. Ляпунов, О некоторых общих вопросах кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 1, 1958, стр. 8.

<sup>2</sup> См. А. И. Берг, Проблемы управления и кибернетика, «Философские вопросы кибернетики», стр. 134.

<sup>3</sup> «Правда», 27 декабря 1961 г.

<sup>4</sup> Более подробное разъяснение описываемой методики можно найти в статье Е. И. Бойко «Опыт разработки двигательной методики с учетом зрительных установочных рефлексов», «Известия АПН РСФСР» № 53, 1954.

начала должна быть учтена при алгоритмическом описании соответствующих реакций. Нужно постоянно помнить, что интересующие нас механизмы имеют два главных входа. Поэтому мы уже сейчас можем сказать, что в левой части логических схем наших алгоритмов обязательно должны стоять два оператора ввода информации, а именно: второсигнальный (или вербальный) оператор, который обозначается нами символом  $K(V)$ , и первосигнальный оператор  $K(L)$ , представляющий ввод информации от непосредственных раздражителей в форме вспышек ламп.

Всего на пульте имеется несколько десятков ламп и ключей, причем одни лампы, расположенные на наклонной панели возле ключей, сигнализируют испытуемым, на какие ключи нужно нажимать, другие лампы, расположенные на вертикальной панели пульта, зажигаются при нажатии испытуемыми на ключи. В ходе опыта требуется запоминать связь между ключами и лампами, а затем зажигать заданные лампы, выбирая соответствующие ключи. Алгоритмическое описание такого рода реакций, т. е. реакций зажигания заданных экспериментатором ламп, и является основным предметом нашего последующего анализа. Поскольку при этой методике испытуемые могут ориентироваться на разные лампы и оперировать разными ключами, получающиеся двигательные ответы необходимо опосредствуются зрительными установочными реакциями с перемещениями линии взора. Ниже будет показано, во-первых, что названные реакции играют очень важную роль в образовании сложных систем временных связей, а во-вторых, что при посредстве этих реакций осуществляется активно-избирательное целенаправленное отношение к раздражителям в форме планового поиска (и выбора) тех или иных зрительных объектов на основе второсигнальных и первосигнальных корковых связей. Вообще говоря, установочные реакции являются теми специальными механизмами, с помощью которых головной мозг активно отбирает нужную ему информацию для осуществления целенаправленных действий<sup>1</sup>.

Роль моделей внешней среды с определенными устойчивыми закономерностями в наших опытах играют различные схемы соединений между ключами и лампами, легко реализуемые с помощью обыкновенных штекеров по заранее составленным планам. Лампы и ключи могут соединяться между собой бес-

---

<sup>1</sup> См. *Е. И. Бойко*, Опыт разработки двигательной методики с учетом зрительных установочных рефлексов, «Известия АПН РСФСР» № 53, 1954.

порядочно, но могут и группироваться по определенным пространственным признакам, которые допускают обобщение и выражают объективные причинные связи, воздействующие на испытуемых в ходе опыта. На рис. 1 показаны два примера

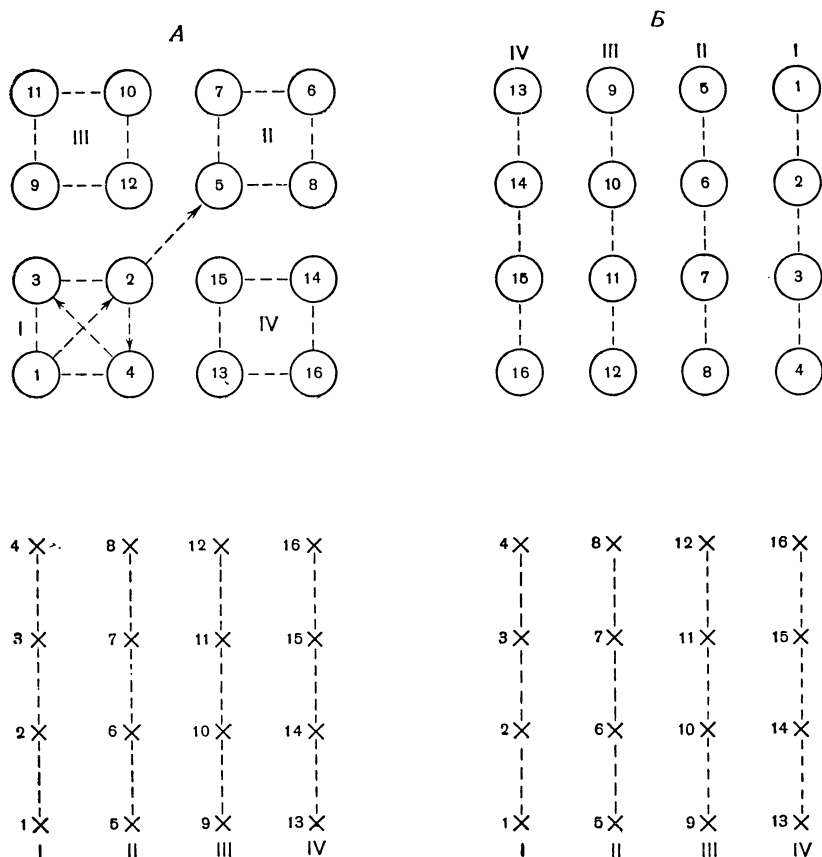


Рис. 1. Различные схемы соединений ключей (обозначены крестиками) и ламп (обозначены кружками).

Группировка показана пунктиром. Отдельные группы отмечены римскими цифрами

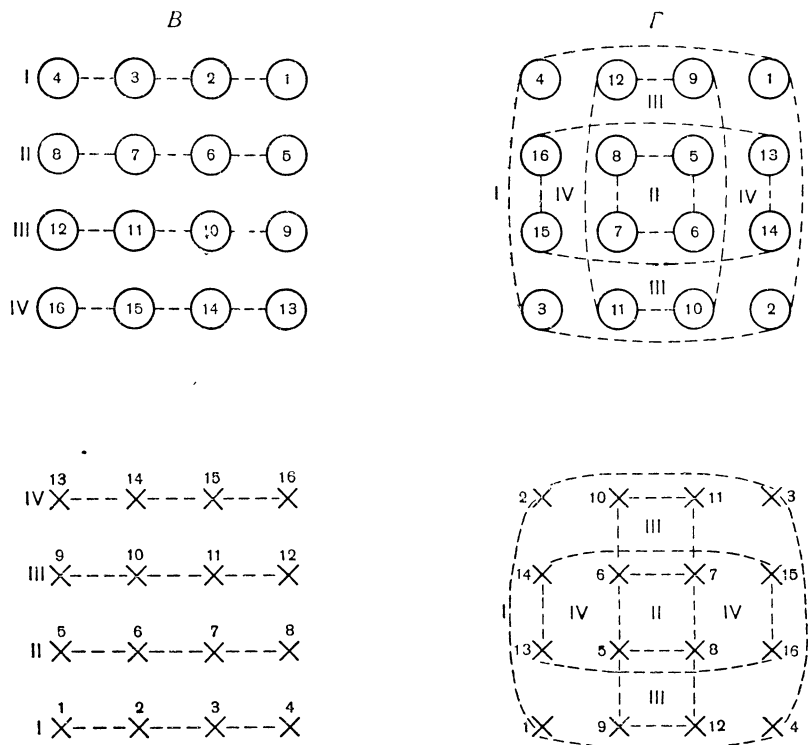
упорядоченных (сгруппированных) соединений ключей и ламп, причем связанные между собой элементы обозначены одноименными цифрами (ключ 1-й зажигает 1-ю лампу, ключ 2-й — 2-ю лампу и т. д.).

Одним из первых существенных результатов наших опытов было установление следующего факта. Когда испытуемые при

определенном соединении элементов на пульте научались безошибочно зажигать каждую лампу, тотчас же отыскивая взо-  
ром требуемый ключ, то с чисто внешней стороны казалось  
возможным сказать, что у них выработались условнорефлек-  
торные связи между вспышками тех или иных ламп (условные  
раздражители) и нажатиями на соответствующие ключи (дви-  
гательные ответы). Однако подобное описание процесса было  
бы слишком упрощенным и неполным без учета зрительных  
установочных реакций. При ближайшем рассмотрении такого  
рода связи оказываются структурно неоднородными и, самое  
главное, существенно зависящими от порядка (последователь-  
ности) нажатия на ключи в процессе обучения. Решающим  
фактором здесь является последовательность зритель-  
ных установочных реакций, определяющая структуру образуе-  
мых систем временных связей. При одних порядках предъяв-  
ления ключей и ламп в ходе опыта обучение проходит легко и  
быстро, однако зрительно воспринимаемые элементы группи-  
руются в довольно сложные пространственные схемы, которые  
используются затем испытуемыми при отыскании нужных клю-  
чей для зажигания заданных экспериментатором ламп. Оче-  
видно в этом случае образуются и очень сложные системы  
временных связей. Наоборот, при других порядках предъяв-  
ления ключей и ламп процесс обучения может затрудняться и  
очень затягиваться во времени, но переходы от заданных ламп  
к искомым ключам при проверке «вразбивку» оказываются  
укороченными, «короткозамкнутыми», т. е. действительно осно-  
вываются на прямых ассоциативных связях между ключами и  
лампами без использования сложных пространственных схем.  
Обычно такие простые ассоциативные связи вырабатываются  
у испытуемых при так называемых п е р е м е н н ы х порядках  
предъявления раздражителей, когда последовательность нажи-  
мания на ключи в ходе обучения зажиганию ламп раз от раза  
меняется.

Чтобы получить наглядное представление о реакциях пере-  
хода от заданных ламп к искомым ключам с использованием  
пространственных схем, о зависимости этих схем от порядка  
(последовательности) зрительных сигналов в процессе обуче-  
ния и, наконец, о лежащих в их основе системах временных  
связей, следует внимательно рассмотреть рис. 2. На этом ри-  
сунке видно, что как лампы, так и ключи могут п о - р а з н о м у  
г р у п п и р о в а т ь с я в зависимости от того, в какой последо-  
вательности они предъявлялись испытуемыми при обучении.  
Очень важно уяснить себе, что схема электрических соедине-  
ний ключей и ламп, т. е. первоначальная модель внешней сре-  
ды, на рис. 1 *Б* и на рис. 2 *В* и 2 *Г* одна и та же, а субъектив-

ная группировка ключей и ламп различная. Арабские цифры указывают на последовательность зрительных установочных актов, определяемую порядком подачи световых сигналов; пунктиром и римскими цифрами обозначена субъективная группировка элементов вследствие образования соответствующих



Р и с. 2. Зависимость группировки ключей и ламп от последовательности зрительных сигналов при одной и той же схеме электрических соединений.

Группы отмечены пунктиром и римскими цифрами

временных связей в зрительном анализаторе. Кажущееся расхождение между субъективными представлениями и объективной электрической связью ламп и ключей, которая остается одной и той же, объясняется здесь тем, что последовательность предъявления раздражителей также является существенным объективным фактором, выполняющим в образовании сложных систем временных связей ту же роль, которую играет совпадение во времени условного раздражителя и подкрепле-

ния при выработке условного рефлекса. Иначе говоря, порядок подачи сигналов в наших опытах следует признать существенным элементом модели внешней среды, представляющим ее объективные закономерности в потоке времени.

Зрительные установочные реакции с их сложными координационными механизмами, безусловно, не могли бы развиваться в процессе эволюции, если бы между движениями животных и изменениями в действии раздражителей, вызываемыми этими движениями, не было такой же объективной причинной связи, какая существует между раздражениями и ответными актами в рефлекторной дуге. Приходится только удивляться, что, в то время как детерминация движений раздражителями давно уже является общепризнанной, обратное причинное отношение, т. е. зависимость афферентации от движения, оказалась в поле зрения лишь немногих авторов (Ч. Белл, Р. Газри, Н. А. Бернштейн, П. К. Анохин). Общее значение этого факта (как нам кажется, еще не вполне оцененное) было рассмотрено нами в специальном докладе на конференции по проблемам ориентировочного рефлекса<sup>1</sup>. Поэтому мы с большим удовлетворением констатируем совпадение с нашими взглядами по этому вопросу положений С. Н. Брайнеса, А. В. Напалкова и В. Б. Свечинского, согласно которым «всякое движение, направленное на изменение внешней среды, приводит к поступлению в головной мозг нового потока информации»<sup>2</sup>. Зрительные установочные движения как раз и являются теми высокоспециализированными механизмами, которые выполняют эту функцию в сложных системных реакциях.

Возвращаясь к материалам наших исследований, констатируем следующее. От различной последовательности зрительных установочных реакций в ходе обучения испытуемых зажиганию ламп зависит, во-первых, субъективная зрительная группировка ламп и ключей, а во-вторых, характер и последовательность тех элементарных психофизиологических операций, посредством которых перерабатывается информация при реакциях перехода от заданных ламп к искомым ключам, т. е. алгоритмы работы мозга в вышеуказанном смысле слова. Однако, прежде чем строить логические схемы таких алгоритмов, необходимо ближе познакомиться с самими элементарными операциями и лежащими в их основе физиологическими механизмами.

---

<sup>1</sup> См. *Е. И. Бойко*, О двоякой роли установочных рефлексов в сложных системных реакциях. «Ориентировочный рефлекс и ориентировочно-исследовательская деятельность», М., 1958.

<sup>2</sup> *С. Н. Брайнес, А. В. Напалков, В. Б. Свечинский*, Нейрокибернетика, стр. 42.

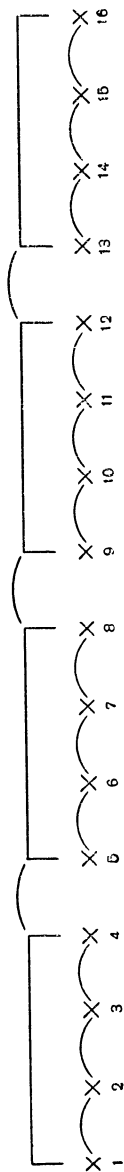
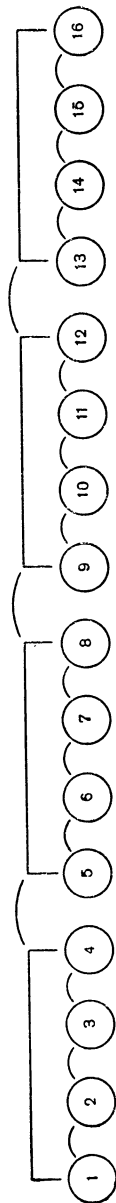
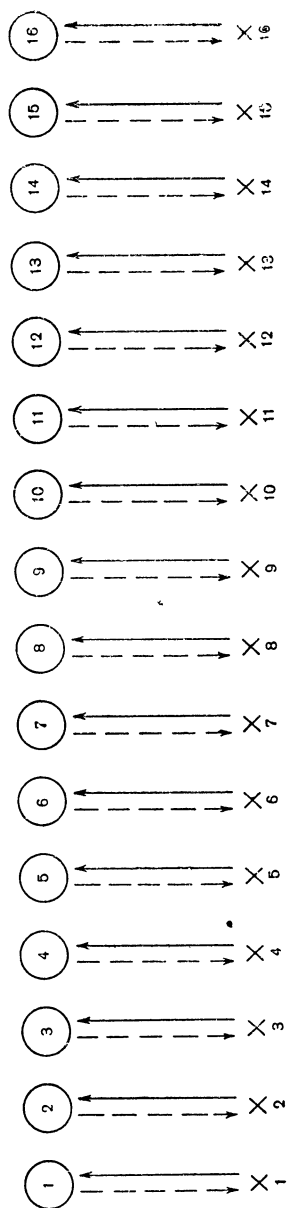


### 3. К вопросу о механизмах второй сигнальной системы. Динамические временные связи

В основе зрительной группировки ключей и ламп лежат двоякого рода временные связи первой сигнальной системы — симультанные и сукцессивные. Это означает, что первые воспроизводятся в форме одновременных комплексов и обуславливают субъективные образы групп ключей и ламп; вторые лежат в основе запоминания последовательности элементов в группах. И те и другие связи по своему типу являются обычными условнорефлекторными. Они хорошо известны в физиологии высшей нервной деятельности как связи, или ассоциации, между индифферентными раздражителями, вырабатываемые на основе ориентировочного подкрепления. Однако, как показывают наши исследования, кроме этих первосигнальных связей акты выделения искомым ключей (или ламп) в процессе осуществления реакций на пульте опосредствуются особым рода второсигнальными управляющими импульсами, поступающими из словесных отделов коры в различные пункты зрительного анализатора<sup>1</sup>. Здесь выступают связи другого типа, а именно второсигнальные, или динамические. На рис. 3 представлены наглядные схемы систем связей, на основе которых происходят переходы от заданных ламп к искомым ключам при различных порядках подачи сигналов в процессе обучения. В верхней части рисунка изображена схема 16 простых независимых связей, или ассоциаций «ключ — лампа», которые возникают при так называемых переменных порядках подачи сигналов по ходу обучения. На нижней части рисунка дана схема одновременных и последовательных связей, вырабатываемых при фиксированных порядках обучения, которые уже известны нам по рис. 1 и 2. Арабскими цифрами показана последовательность предъявления ключей и ламп в группах при обучении. Естественно, что эта же последовательность отображается в сукцессивных временных связях зрительных раздражителей.

При рассмотрении нижней части рис. 3 обращает на себя внимание то обстоятельство, что связи между соответственными

<sup>1</sup> См. *Е. И. Бойко*, Проблемы высшей нейродинамики, «Пограничные проблемы психологии и физиологии», М., 1961, стр. 7—40, 107—114; *Т. Н. Ушакова*, Взаимодействие первой и второй сигнальных систем в актах умозаключающего наглядного мышления, там же; *Н. И. Чуприкова*, О локальных изменениях возбудимости зрительного анализатора под влиянием словесных раздражителей, «Журнал высшей нервной деятельности» № 4, 1961; *ее же*, К анализу физиологических механизмов произвольного внимания, «Вопросы психологии» № 2, 1962.



Р и с. 3. Системы связей, образуемые при переменных (вверху) и фиксированных (внизу) порядках подачи сигналов. Внизу: линии вида — указывают на одновременно воспроизводимые связи (симультианные); дуги указывают на последовательные (сукцессивные) связи зрительных раздражителей и соответствующих им установочных реакций

ключами и лампами отсутствуют, в то время как внутри ряда ламп, а также внутри ряда ключей элементы связаны между собой одновременными и последовательными ассоциациями. Наоборот, при переменных порядках подачи сигналов, как показано на верхней части рисунка, образуются лишь почленные ассоциации между соответственными ключами и лампами, при посредстве которых испытуемые запоминают, каким именно ключом зажигается каждая отдельная лампа. Возникает законный вопрос, каким образом при отсутствии прямых ассоциаций между ключами и лампами испытуемые переходят от той или иной заданной лампы к зажигающему ее ключу? Ведь, по всем имеющимся у нас данным, при постоянных порядках подачи сигналов испытуемые, как правило, не запоминают, каким именно ключом зажигается та или иная лампа. Как же в таком случае осуществляется зрительная переориентировка с заданной лампы на требуемый ключ? Какие нервные связи объединяют соответствующие рефлекторные акты, поскольку перевод взора правильно осуществляется в результате предшествующего опыта?

Частичный ответ на поставленные вопросы был дан выше, когда указывалось, что нужный ключ отыскивается по группе ламп и по порядковому месту заданной лампы в группе. Однако на нашей схеме не обозначены и связи между группами ламп и ключей, так как опыт показывает, что соответствующие ассоциации тоже не образуются. Тем не менее испытуемые легко находят искомые ключи по порядковым номерам групп и номерам порядковых мест в группах как по координатам. Последнее сравнение отнюдь не является фигуральным, что легко усматривается из рис. 4. На оси ординат  $L_y$  отложены порядковые номера групп ламп, на оси абсцисс  $L_x$  — номера порядковых мест ламп в группах. Когда испытуемый локализует заданную лампу в той или иной группе и отмечает ее порядковое место, то для него уже не составляет труда зрительно найти соответствующую группу ключей и соответствующий по номеру ключ в этой группе, причем никакой надобности заранее заучивать эти номера нет. Достаточно только запомнить конфигурации соответствующих групп и последовательность элементов в группах, что и осуществляется при посредстве уже известных нам симультанных и сукцессивных однопорядковых связей.

Отыскание точки на плоскости с помощью декартовой системы координат представляет собой лишь частный случай такого общего типа действия. Представим себе, что лампы и ключи в нашем опыте соединены между собой таким образом, что соответственные элементы занимают на своих панелях

одинаковые места, т. е. местоположение любой заданной лампы в точности соответствует местоположению зажигающего ее ключа. Так, если воспользоваться общеизвестной шахматно-пашечной системой обозначений, то ключ  $b1$  должен зажигать лампу  $b1$ , ключ  $c3$  — лампу  $c3$  и т. д. Поскольку в этом случае координаты заданных ламп и зажигающих их ключей всегда совпадают, то, кроме знания этого факта, для того чтобы безошибочно находить ключ, соответствующий заданной лампе, никаких дополнительных связей вырабатывать уже не тре-

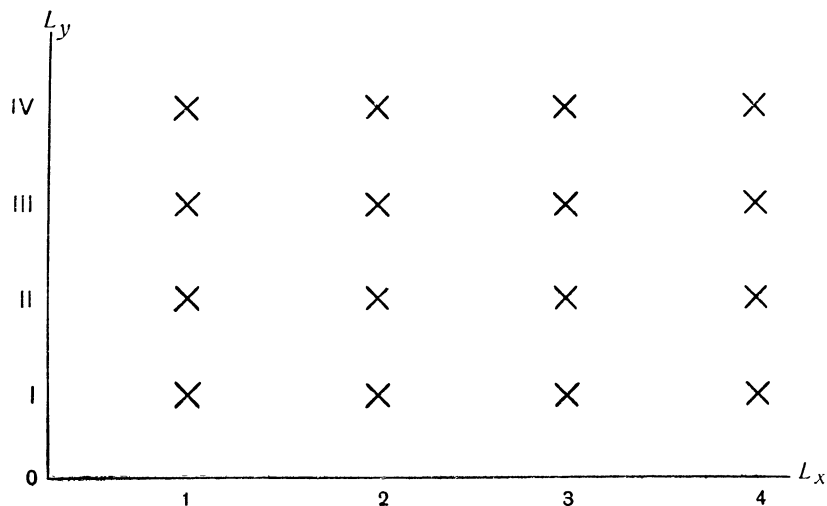


Рис. 4. Обобщенная схема соотношения ламп и ключей при постоянных порядках подачи сигналов

буется. Это вполне очевидно, и потому нам остается ответить только на один вопрос, а именно: с помощью какого психофизиологического процесса отыскивается та или иная точка на плоскости (в данном случае это ключ на панели ключей), когда ее координаты известны? Ответ на поставленный вопрос, без сомнения, должен пролить свет и на скрытый от нас механизм перехода от заданной лампы к искомому ключу при любых упорядоченных схемах соединения элементов на пульте.

Чтобы облегчить понимание дальнейшего, необходимо подчеркнуть следующее: между исходной ситуацией, когда координаты какой-либо точки еще только заданы, и заключительным состоянием, когда эта точка с их помощью уже найдена, имеет место особый нервно-психический процесс, который состоит в выборе одной точки из некоторого множества. В нашем случае при посредстве этого процесса происходит выде-

ление одного определенного ключа из нескольких возможных, заданных обеими координатами, и одновременно отбрасывание всех других точек координат, как не относящихся к делу (физиологически здесь, очевидно, должно иметь место локальное торможение соответствующих клеток мозга). До сих пор на эту важную сторону вопроса не обращалось никакого внимания. Однако с психофизиологической точки зрения между информацией, выраженной в заданных значениях координат, и информацией о том, какой именно объект из имеющихся налицо определяется этими координатами, существует большая (но обычно не замечаемая) разница. Процесс перехода от конкретных значений координат к определяемой ими точке в пространстве можно и нужно моделировать. Ведь значение каждой из координат само по себе дает много возможных ответов, а требуется выбрать только один определенный ответ, и механизм этого выбора подлежит изучению. Для того чтобы данные на входе (координаты) преобразовать в данные, получающиеся на выходе системы (искомая точка), необходимо иметь два рычага или два привода. Первый привод должен усиливать или как-то подчеркивать местный процесс в точке пересечения обоих координат по отношению ко всем другим точкам; второй привод должен, наоборот, ослаблять, тормозить или даже полностью устранять на выходе все эти точки, кроме одной — искомой. Соответствующий нейродинамический механизм был в существенных чертах изучен и неоднократно описан нами под именем динамических временных связей<sup>1</sup>. Поэтому здесь мы ограничимся только повторением важнейших тезисов и некоторым обобщением целого.

Как показывают полученные экспериментальные данные, при целенаправленном умственном сопоставлении наглядных зрительных образов из словесных отделов коры в зрительный анализатор поступают положительные и отрицательные «управляющие» импульсы, при посредстве которых происходит локальное изменение возбудимости тех или иных зрительно-двигательных путей и выделение определенных элементов зрительного объекта, необходимых для действия. Простейший пример — выделение взором общей лампы при последователь-

---

<sup>1</sup> См., например, работы: *Е. И. Бойко*, К вопросу о механизмах умственных процессов, «Вопросы психологии» № 2, 1955; *его же*, Взаимодействие условнорефлекторных процессов в сложных системных реакциях, «Вопросы изучения высшей нейродинамики в связи с проблемами психологии», М., 1957; *Е. И. Бойко, М. М. Власова, Н. И. Чуприкова*, Некоторые результаты и перспективы экспериментальной работы в области высшей нейродинамики, «Пограничные проблемы психологии и физиологии», М., 1964.

ном предъявлении испытуемому двух пар ламп, одна из которых входит составным элементом в обе пары. Если попросить испытуемого находить указкой общую лампу при вспыхивании различных пар ламп, то совершенно очевидно, что корковая временная связь между зрительным раздражением от этой лампы и двигательным ответом испытуемого, когда он дотягивается до нее указкой, не подходит под общеизвестную схему условного рефлекса. В предшествующем опыте испытуемого эта лампа ни разу не сочеталась с двигательной реакцией и не могла быть объектом запоминания. С другой стороны, словесный раздражитель «общая лампа» может обозначать любую из ламп пульты и, следовательно, однозначно не определяет ни зрительного раздражителя, ни ответной двигательной реакции. Очевидно, связь между ними возникает по ходу начавшейся реакции при зрительном сравнении экспонируемых пар, т. е. является продуктом взаимодействия словесных и зрительных раздражителей, результатом текущей нейродинамики, а не заранее выработанным механизмом нервного замыкания.

Существенной чертой этого процесса, состоящего в экстренном образовании новых нервных путей на основе взаимодействия ранее выработанных обобщенных связей, следует считать локальное суммирование эффектов второсигнальных управляющих импульсов в тех «пунктах» зрительного анализатора, которые соответствуют проекции воспринимаемой общей лампы. В пунктах же, соответствующих проекциям других ламп, как показали многократные опыты наших сотрудников, развивается процесс торможения.

Не трудно видеть, что ситуация выделения общей лампы из двух последовательно предъявляемых пар ламп является лишь упрощенным вариантом отыскания точки по заданным координатам. Следовательно, описанный в ряде наших работ механизм динамических временных связей и есть интересующий нас здесь механизм посредствующего выбора. Более того, самый принцип выбора того или иного объекта по его координатам — а следовательно, и соответствующий нервный механизм — отнюдь не ограничиваются геометрическим пространством декартовых координат. Они распространяются на всю огромную область словесных сигналов. Едва ли можно сомневаться в том, что процесс выработки в опыте человека обобщенных значений слов находится в близком родстве с вышеописанной схемой выделения общих чувственных элементов благодаря суммированию эффектов управляющих нервных импульсов<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> См. *Е. И. Бойко*, Узловые проблемы высшей нейродинамики, «Пограничные проблемы психологии и физиологии», стр. 17.

Слово сочетается в опыте ребенка со многими различными в первосигнальном плане раздражителями (предметами) и физиологически связывается с ними лишь в меру совпадения конкретных, чувственных свойств в каких-то общих моментах, составляющих содержание понятия. С другой стороны, при общении людей с помощью языка и при вербальном мышлении каждое слово можно рассматривать как особую координату в многомерном фазовом пространстве. Взаимодействие генерализованных комплексов возбуждений в коре головного мозга, соответствующих восприятию каждого отдельного слова как обобщенного сигнала, должно состоять в частичном пространственном совпадении этих комплексов и в функциональном обособлении (выделении) некоторых из их компонентов соответственно общему смыслу слов. Образование динамических временных связей при взаимодействии слов раздражителей с указанной точки зрения дает начало всевозможным суждениям и умозаключениям, приносящим новое содержание в общий контекст мысли по сравнению с имеющимся запасом знаний, непосредственно основанных на обычных (замыкательных) временных связях.

Подобно тому как по двум численным координатам отыскивается определенная точка на плоскости, так и по двум или нескольким смысловым координатам — словам — определяется конкретное содержание того или иного суждения. С психофизиологической точки зрения оба эти случая объединяются одним и тем же общим механизмом — механизмом динамических временных связей. Любая цепь рассуждений при этом может рассматриваться как сложная «фазовая траектория» в многомерном информационном пространстве, координатами которой являются входящие в эту цепь словесные сигналы.

В одной из наших прежних коллективных работ<sup>1</sup> была указана связь описанного общего механизма с познанием человеком причинных отношений и с индуктивной логикой Ф. Бэкона и Дж. Ст. Милля. Здесь нас более интересуют теоретико-информационный и нейрокибернетический подход к тому же самому психофизиологическому объекту. Рассматривая высшие отделы мозга как сложнейшее управляющее устройство, попытаемся сопоставить между собой некоторые характеристики центральных каналов связи при переходах от заданных ламп к соответствующим ключам: а) в опыте с переменным порядком подачи сигналов и б) в опыте с постоян-

---

<sup>1</sup> См. *Е. И. Бойко, М. М. Власова и Н. И. Чуприкова*, Некоторые результаты и перспективы экспериментальной работы в области высшей нейродинамики, «Пограничные проблемы психологии и физиологии».

ными порядками сигналов при обучении, когда отчетливо выявляется механизм динамических временных связей. Характеристики периферических нервных путей и концевых воспринимающих аппаратов при обеих формах опыта мы, естественно, принимаем за одинаковые.

#### 4. Сравнительная оценка различных систем временных связей с точки зрения теории информации и нейрокибернетики

В вышеописанном опыте с переменным порядком подачи сигналов вырабатывались 16 прямых ассоциативных связей «ключ — лампа» и столько же обратных ассоциаций «лампа — ключ» по известным законам дифференцирования положительных раздражителей. Подачу сигналов на отдельные лампы, которые нужно зажигать соответственными ключами, мы можем рассматривать как источник 16 равновероятных сообщений и определить количество информации на каждый сигнал в 4 дв. ед. (величина, равная информационной емкости источника сообщений). Такую же величину информации мы имеем на выходе системы при выборе одного из 16 ключей. Само собой понятно, что и в опытах с постоянными порядками подачи сигналов при 16 лампах и 16 ключах должно передаваться и перерабатываться то же самое количество информации, т. е. четыре бита (когда обучение закончено и задаются отдельные лампы для зажигания с одинаковой частотой). Однако в последнем случае лампы и ключи зрительно группируются по определенным пространственным схемам, и, следовательно, сигналы источника должны перекодироваться в мозгу испытуемых соответственно принятым системам координат.

Рассмотрим подробнее схему, изображенную на рис. 1 Б. При указанной на этой схеме последовательности подачи сигналов в процессе обучения (арабские цифры) испытуемый, естественно, начинает объединять лампы и ключи в группы, обозначенные римскими цифрами. После этого процесс нахождения ключа для зажигания какой-либо заданной лампы обычно заключается в следующем. Испытуемый сначала локализует заданную лампу в множестве других ламп, т. е. определяет тот вертикальный ряд, в который она входит (первая координата); потом — порядковое место этой лампы в найденном ряду, т. е. номер горизонтальной строки (вторая координата). Затем по найденным координатам легко определяется соответствующий ряд ключей и наконец искомый ключ.



Алфавит, в который перекодируются сигналы по описанной схеме решения задач, может состоять из шести символов, а именно:  $p$  (ряд),  $c$  (строка) и цифры 1, 2, 3 и 4. Каждое сообщение, представленное вспышкой любой заданной лампы, нетрудно изобразить четырьмя символами, например  $p2\ c4$  (лампа, находящаяся во втором ряду и четвертой строке). Таким образом, всего для передачи 16 разных сообщений (соответственно общему числу ламп) потребуется 64 символа, включая повторения. Однако символы  $p$  и  $c$  при данном коде входят в любое сообщение и, следовательно, только 32 символа несут в себе информацию. Принимая во внимание, что различные лампы вспыхивают по ходу опыта одинаковое число раз, мы получаем следующее распределение вероятностей для символов 1, 2, 3 и 4:

$$\frac{8}{32} + \frac{8}{32} + \frac{8}{32} + \frac{8}{32} = 1.$$

Теперь нетрудно вычислить среднюю информацию на символ по известной шенноновской формуле

$$\frac{8}{32} \cdot \log \frac{8}{32} \cdot 4 = \frac{64}{32} = 2 \text{ бита.}$$

Если же принять в расчет все символы данного кода, употребляемые при приеме сообщений, т. е. включая  $p$  и  $c$ , то средняя информация ( $H_1$ ), приходящаяся на символ, будет составлять

$$H_1 = \frac{64}{32 + 32} = 1 \text{ символ/единица.}$$

Для того чтобы оценить данный код с точки зрения классической теории информации, достаточно определить его избыточность, т. е. сравнить с оптимальным кодом, имеющим в алфавите 6 символов, которые выдаются при всех сообщениях с одинаковой вероятностью. Для передачи 16 сообщений в оптимальном коде средняя энтропия на символ будет равняться

$$H_0 = \frac{5}{30} \cdot \log \frac{5}{30} + \frac{5}{30} \cdot \log \frac{5}{30} + \frac{5}{30} \cdot \log \frac{5}{30} + \frac{5}{30} \cdot \log \frac{5}{30} + \\ + \frac{5}{30} \cdot \log \frac{5}{30} + \frac{5}{30} \cdot \log \frac{5}{30} = 2,6.$$

Отсюда относительная энтропия первого кода составит

$$h = \frac{H_1}{H_0} = \frac{1}{2,6} = 0,385,$$

а его избыточность —

$$r = \frac{H_0 - H_1}{H_0} = \frac{2,6 - 1}{2,6} = 0,615.$$

Сравним теперь аналогичные показатели для данных, получающихся в опытах с переменными и постоянными порядками подачи сигналов. В первом случае для каждого из 16 сообщений потребовался бы один символ, причем средняя информация, приходящаяся на символ, равна 4 единицам. Относительная энтропия такого кода, очевидно, равнялась бы единице, а избыточная — нулю. Таким образом, при перекодировании сигналов источника сообщений в алфавит координат, согласно схеме, изображенной на рис. 1, мы получаем явно менее экономичный код. Это хорошо согласуется с имеющимися у нас данными о времени реакции большого числа испытуемых, полученными за целый ряд лет. При переменных порядках подачи сигналов среднее время реакции зажигания различных ламп у хорошо тренированных испытуемых, как правило, оказывается более коротким, чем время аналогичных реакций при постоянных порядках подачи сигналов. В ряде случаев первое может быть короче второго на 900 и более *мсек*<sup>1</sup>.

Вместе с тем мы хорошо знаем, что процесс обучения, т. е. выработка соответствующих нервных связей, при переменных порядках подачи сигналов происходит гораздо медленнее, чем при постоянных<sup>2</sup>. Последнее, по-видимому, находится в каком-то противоречии с признанием первого кода более экономичным. Кроме того, очевидная и очень удобная однотипность реагирования при локализации ламп и ключей с помощью метода координат как будто бы также указывает на более высокую экономичность способа действия в опытах с постоянными порядками подачи сигналов. Получающееся противоречие, однако, разрешается, если принять во внимание различие точек зрения при этих оценках. С точки зрения теории информации 16-элементный код источника сообщений, несомненно, является более экономичным, чем код координат, как это ясно показывают приведенные простые расчеты. Зато для переработки принятых в этом коде сообщений, состоящей в отыскании для каждой заданной лампы соответствующего ей ключа, при переменных порядках обучения потребовалось 16 отдельных каналов связи (ассоциаций «лампа — ключ»), что едва ли можно признать экономным.

Типичные задачи из области инженерной теории связи состоят в отыскании наиболее экономного (или вообще подходящего) кода для данного канала связи, а также в определении пропускной способности этого канала. Наоборот, типич-

<sup>1</sup> См. *Е. И. Бойко*, Опыт разработки двигательной методики с учетом зрительных установочных рефлексов, «Известия АПН РСФСР» № 53, 1954, стр. 72.

<sup>2</sup> См. там же, стр. 28—29.

ные задачи нейрокибернетики состоят в изучении современными логико-математическими методами условий образования и структур внутримозговых каналов связи при обычно известном количестве информации, подлежащей приему и переработке. Образование любого условного рефлекса, а также все наше обучение, мышление и вообще все психическое развитие в онтогенезе с точки зрения теории информации представляют собой не что иное, как формирование новых каналов связи для приема, хранения и переработки информации мозгом. Ведь важнейшая функция высших отделов мозга как раз и состоит в беспрестанном функциональном новообразовании, основу которого составляет формирование различных систем временных связей. А каждая временная нервная связь есть лишь особый канал связи, вернее, существенная часть очень сложной системы внутримозговых каналов связи, включая вышеописанные динамические новообразования второй сигнальной системы. Естественно, что при таком подходе к предмету проблематика, связанная с определением пропускной способности анализаторов, несмотря на всю свою важность, занимает подчиненное положение.

Возвращаясь к сравнительной оценке различных каналов связи, формируемых в опытах с переменным и постоянным порядками подачи сигналов, мы должны признать систему временных связей, обеспечивающих локализацию ламп и ключей по координатам, в конечном счете более экономной по сравнению с воспроизведением прямых ассоциаций в опыте с переменным порядком сигналов. Три обстоятельства здесь имеют решающее значение. Во-первых, вместо многих (шестнадцати) отдельных и независимых каналов связи при единой системе координат мы находим один общий способ переработки информации (перехода от ламп к ключам) и, следовательно, только один, хотя и более сложный, канал связи. Во-вторых, при выработке независимых ассоциативных связей в опыте с переменным порядком подачи сигналов вся нагрузка ложится на долговременную память, тогда как при методе координат существенную роль играет более экономичная кратковременная память, причем широко используются уже имеющиеся связи (счет, знакомые геометрические формы и т. п.). В-третьих, и это самое главное, при методе координат широко используются уже знакомые нам динамические нервные связи. Но ведь это означает, что некоторые звенья сложного внутримозгового канала связи не предсуществуют, а всякий раз как бы заново достраиваются в самом ходе процесса переработки информации.

## 5. Алгоритмизация некоторых типичных форм второсигнальных реакций

Теперь нам нетрудно дать содержательное описание элементарных операций, а затем и логические схемы алгоритмов переработки информации при переходах от заданных ламп к искомым ключам. Возьмем для примера фиксированный порядок подачи сигналов, отраженный на рис. 1Б.

После того как обучение закончено и испытуемые приобрели способность быстро находить нужный ключ, чтобы зажечь любую заданную экспериментальную лампу (предположим, это будет лампа 7 на нашей схеме), процесс приема и переработки информации формализуется следующим образом:

1. Испытуемый получает словесную инструкцию зажигать сигнализируемые лампы путем нажимов на соответствующие ключи — ввод второсигнальной (вербализованной) информации  $K(V)$ .

2. Вспыхивает световой сигнал у заданной лампы — ввод непосредственной (первосигнальной) информации  $K(L)$ .

3. В долговременной памяти испытуемого воспроизводятся имеющиеся симультанные связи ламп. Обозначим эту элементарную операцию оператором  $I$ . В момент совпадения одной из групп с воспринимаемой заданной лампой эта группа выделяется, а воспроизведение других временно задерживается торможением (выполнение условия  $p$ ). Результат отправляется в кратковременную память — первая динамическая связь.

4. Далее следует синхронизированное воспроизведение двух рядов ассоциаций: последовательного ряда групп ламп, которые прослеживаются взором, и натурального ряда чисел — 1, 2, 3 и т. д., т. е. происходит мысленный отсчет групп ламп. Первый процесс обозначается нами оператором  $A$ , второй (вербальный) — оператором  $V$ , а приближенная синхронизация при отсчете — значком  $\text{—}$ .

5. В момент, когда воспроизводимый ряд ламповых групп совпадает с удержанной в кратковременной памяти группой заданной лампы (мы будем обозначать это как выполнение условия  $p_1$ ), происходит останов  $St$  воспроизведения обоих рядов ассоциаций, т. е. непосредственного и вербального (мысленный счет). Результат вербально квалифицируется в данном случае как «второй справа ряд ламп» и отсылается в кратковременную память (стрелка вниз).

6. Затем происходит синхронизированное воспроизведение последовательности ламп внутри найденной группы (на основе

сукцессивных связей) и натурального ряда чисел — мысленный отсчет (операторы  $B$  и  $V^n$ ). Останов  $St$  происходит при выполнении условия  $q$ , заключающегося в совпадении одной из ламп воспроизводимого последовательного ряда с заданной лампой. Результат вербально квалифицируется, например как «третья сверху лампа во втором ряду», и отправляется в краткосрочную память.

7. После этого следует зрительная переориентировка с панели ламп на панель ключей (оператор  $C$ ).

8. Воспроизводится фиксированная в долговременной памяти последовательность групп ключей (оператор  $D$ ) и синхронно с этим ведется мысленное отсчитывание групп  $V^n$ . Останов происходит в момент совпадения одного из членов воспроизводимого ряда чисел с удержанным в кратковременной памяти номером группы ламп (условие  $r$ ). Результат в форме наглядного образа отправляется в краткосрочную память.

9. Синхронизированное воспроизведение последовательности ключей в удержанной группе (оператор  $E$ ) и натурального ряда чисел (оператор  $V^n$ ) до совпадения очередного члена с удержанным порядковым номером лампы в группе ламп (условие  $s$ ). Останов воспроизведения  $St$ .

10. Включение координированных зрительно-двигательных механизмов, осуществляющих нажатие на ключ  $M$ .

В случае неодинаковой формы групп вместо отсчета в вышеописанных операциях могут употребляться другие вербальные символы  $V$ , причем зачастую в форме сокращенной внутренней речи. Приведенный перечень операций основывается на систематическом изучении соответствующих реакций различными методиками и дает нам возможность приблизиться к решению задачи моделирования процессов, механизмов, а не конечных внешних результатов работы мозга.

Применяя буквенные обозначения, интересующий нас алгоритм можно записать так:

$$K(V) \downarrow K(L) \overbrace{IpAp_1V^n}^{\substack{\omega \downarrow 1 \\ \uparrow 1 \downarrow 2}} \overbrace{StBqV^n}^{\substack{\omega \downarrow 3 \\ \uparrow 1 \downarrow 2}} \overbrace{StCDrV^n}^{\substack{\uparrow 2 \downarrow 4 \\ \omega \downarrow 1}} \overbrace{StEsV^n}^{\substack{\uparrow 4,3 \downarrow 5 \\ \omega \downarrow 1}} \overbrace{StM}^{\substack{\uparrow 5 \downarrow \omega}} \downarrow.$$

Подстрочными стрелками, направленными вниз, обозначена отсылка информации в кратковременную память, а подстрочными стрелками, направленными вверх, — считывание нужной информации с «ленты» краткосрочной памяти. Символ  $\omega$  — тождественно ложное условие, означающее безусловный переход по стрелке. Если применить тот же упрощенный способ записи

алгоритмов к реакциям, выработанным на основе переменных порядков предъявления информации, то получится вполне односторонняя картина типа

$$K(V) \overset{1, 2, 3, \dots, 16}{\downarrow} K(L) \overset{1}{\uparrow} A \overset{2}{\uparrow} B \overset{3}{\uparrow} C \overset{16}{\uparrow} \omega, \dots, N \omega,$$

где  $A, B, C, D, \dots, N$  — отдельные и независимые операторы переходов от заданных ламп к соответствующим ключам и обратно. Запись двигательных реакций после каждого оператора для простоты опускается.

Между механизмами реакций, основанными на первом из приведенных алгоритмов и на втором из них, имеется фундаментальное различие. Во втором случае переходы от заданных ламп к искомым ключам основываются на многократном предшествующем сочетании парных сигналов «ключ — лампа» и на выработке обычных условнорефлекторных связей между соответствующими установочными реакциями. В первом же случае связи «лампа — ключ» являются «динамическими» продуктами взаимодействующих обобщенных ассоциаций с общими (совпадающими) компонентами. Всякий раз они как бы заново образуются в ходе процесса взаимодействия сгруппированных комплексов зрительных раздражителей и второсигнальных символов с их обобщенными связями.

Нами был собран также материал, касающийся времени реакций при разных алгоритмах работы мозга. Приведем только один пример. В одном из последних опытов Н. И. Чуприковой и Т. Н. Ушаковой среднее время реакции испытуемых при фиксированных порядках  $B, B$  и  $G$  (см. рис. 1 и 2) составляло соответственно 3076(86); 4305(178) и 1010(305) мсек (в скобках указано число измерений). Общее правило, относящееся к времени реакции при разных алгоритмах работы мозга, состоит в том, что это время заметно возрастает с увеличением числа элементарных операций, входящих в состав данного алгоритма. Изменение времени реакции является заметным и закономерно повторяющимся фактом даже при увеличении числа элементарных переходов (например, отсчитываемых ключей и ламп) всего на одну-две единицы. В частности, наименьшее время реакции при порядках  $G$  обусловлено тем, что вместо описанного почленного отсчета оператор  $V$  в данном алгоритме был представлен прямыми качественными характеристиками типа «большой квадрат», «малый внутренний квадрат», «вертикальный прямоугольник» и т. п.

Выше мы упоминали о том, что зрительный выбор тех или иных элементов на основе определенного алгоритма у человека осуществляется при посредстве второсигнальных управляющих

импульсов. Существование такого рода импульсов — отрицательных и положительных, фазных и тонических (длительно действующих) — было неоднократно показано нашими сотрудниками в физиологических опытах<sup>1</sup>. Для моделирования функций человеческого мозга эти данные имеют большое значение, потому что требуют признания второсигнальных корковых механизмов с их особыми системами временных связей и особыми динамическими законами их образования в качестве высшего аппарата управления работой анализаторов, а следовательно, и всем человеческим поведением. Последнее хорошо согласуется с известными положениями И. П. Павлова о верховной роли второй сигнальной системы в регуляции человеческих реакций. Поэтому в построение логических схем алгоритмов, вырабатываемых в наших опытах на основе фиксированных порядков подачи непосредственных сигналов, необходимо внести одно важное дополнение, а именно отразить в них второсигнальную регуляцию работы всех операторов, остановка операций, воспроизведения связей при проверке логических условий  $p$ ,  $p_1$ ,  $q$ ,  $r$  и  $s$ , а также пуска в ход зрительно-двигательных координационных механизмов  $M$ . Учитывая все эти моменты и обозначив вторую управляющую систему по-прежнему через  $V$ , а работу зрительного анализатора первой сигнальной системы — через  $L$ , можно обобщенно переписать наш алгоритм в соответствии с символикой, предложенной А. А. Ляпуновым<sup>2</sup>, так:

$$\begin{aligned} & \overset{1,2}{\downarrow} M \Gamma(Y_M(t) \rightarrow L, V) L(Y_M(t) \sim Y_L(t)/S) \Gamma(Y_L(t) \rightarrow \\ & \rightarrow M, V) p(M, V) \overset{1}{\downarrow} V(\{Y_M(t), Y_L(t)\} \sim S) \Gamma(S \rightarrow L) \overset{2}{\uparrow}, \end{aligned}$$

где  $\Gamma(Y \rightarrow L, V)$  обозначает передачу информации  $Y$  системам  $L$  и  $V$ ;

$L(Y_M \sim Y_L)$  обозначает, что система  $L$  перерабатывает информацию  $Y_M$  в  $Y_L$ ;

$Y_M(t)$  обозначает информацию, идущую от системы  $M$  в момент времени  $t$ ;

$\{Y_L(t)\}$  обозначает информацию  $Y_L(t)$ , накапливающуюся с течением времени;

$L(Y_M \sim Y_L/S)$  обозначает, что система  $L$  перерабатывает информацию  $Y_M$  в информацию  $Y_L$ , находясь в состоянии  $S$ ;

<sup>1</sup> См. *Е. И. Бойко*, Взаимодействие условнорефлекторных процессов в сложных системных реакциях, «Вопросы изучения высшей нейродинамики в связи с проблемами психологии»; см. также «Пограничные проблемы психологии и физиологии», стр. 7—40, 107—114.

<sup>2</sup> *А. А. Ляпунов*, О некоторых общих вопросах кибернетики, «Проблемы кибернетики», вып. 1, 1958.

$p(M, V)$  — условие, выясняющее, какой системе —  $M$  или  $V$  — следует передать управление. Эта логическая схема алгоритма в отличие от предыдущей указывает только на то, что корковые механизмы вышеописанных реакций функционируют по принципу самоорганизующейся управляющей системы, где  $V$  означает вторую (высшую) управляющую систему, а  $M$  — зрительно-двигательный координационный аппарат.

Возможно, что техническая реализация такого алгоритма будет встречать затруднения, однако, основываясь на анализе реакций выделения искомых ключей по числовым (или вообще вербальным) координатам, уже сейчас можно сказать, что наиболее адекватным здесь будет матричный принцип моделирования<sup>1</sup>.

Из всего изложенного в настоящей статье можно сделать следующие выводы:

1. В настоящее время намечаются два различных пути моделирования функций человеческого мозга: а) путь имитации на моделях лишь конечных результатов или внешних форм поведенческих реакций (а не их физиологических механизмов) и б) путь, который включает в качестве одного из средств моделирования результаты изучения механизмов высшей нервной деятельности человека (этот путь можно назвать нейрокибернетическим).

2. Наряду с проблемой моделирования условного рефлекса, которая занимала в последнее время многих исследователей (чаще всего в плане первого из двух указанных выше путей), естественно возникает проблема моделирования собственно человеческих функций мозга. Последняя проблема не может успешно разрабатываться без привлечения павловских представлений о механизмах второй сигнальной системы.

3. Наиболее удобной формой второсигнальных реакций для экспериментального изучения и для первоначальной формализации в целях моделирования представляются реакции отыскания каких-либо наглядных объектов по их вербальным (понятийным) координатам. Реакции этого типа, как показывают материалы, приведенные в данной статье, основываются на динамических нервных связях, экстренно возникающих в ходе взаимодействия ранее выработанных обобщенных ассоциаций. Такие реакции могут быть алгоритмически описаны, например, в операторной записи, предложенной А. А. Ляпуновым.

---

<sup>1</sup> K. Steinbuch, Lernende Automaten, «Elektronische Rechenanlagen», Heft 3, August 1959; его же, Automat und Mensch, Berlin, 1961.



При определении предмета кибернетики, при выяснении вопросов, относящихся к процессам управления и к системам управления, обычно прямо или косвенно используются понятия об информации и ее преобразованиях. Для выяснения понятия информации как определенной стороны более общего понятия отражения (отображения) полезно сопоставить между собой следующие формы отражения: так называемое общее свойство отражения, присущее всей материи, психическое отражение в живой природе и, наконец, сигнализацию в технике (в технике связи, автоматике, телемеханике и т. д.). В чем общность и различие этих форм?

Способность любой вещи, любого явления в процессе взаимодействия продуцировать изменения состояний другой вещи, создавать в ней определенные *отпечатки, следы*, по своей структуре *изоморфные* некоторой стороне воздействующей вещи, и составляет существо присущего всей природе общего свойства отражения, о существовании которого говорил В. И. Ленин<sup>1</sup>. Законы причинности, законы взаимодействия между объектами природы лежат в основе отношений изоморфизма между отражаемым и отражающим телом. В неживой природе эти изоморфные отпечатки являются «мертвыми» в том смысле, что они не используются носителем этих отпечатков в функции его самосохранения, самоприспособления к изменениям среды.

В живой природе уже в простейших организмах общее свойство отражения начинает использоваться в процессах управле-

---

<sup>1</sup> См. В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 18, стр. 40, 91.

ния (различные формы раздражимости: тропизмы, таксисы, настиги). В мире животных отпечатки внешних воздействий используются в качестве особого орудия приспособления к окружающей среде — как средство *ориентировочно-поисковых реакций*. Это значит, что отпечатки, изоморфные (или гомоморфные) определенным сторонам воздействующих вещей, подвергаются дальнейшей переработке и активно применяются в функции особых заместителей, или моделей, объектов, которые и служат средствами ориентировки в окружающей среде. Можно считать, что функция модели и процессы управления впервые возникают на Земле с появлением жизни, высокоорганизованных биологических систем управления.

Психическое отражение и сигнализация в технике имеют как общие, так и отличительные черты. Если абстрагироваться от того, что современные вычислительные, информационно-логические и управляющие устройства зависят от человека, который определяет их конструкцию, вкладывает в них общие критерии оценки и цель их действий, а в настоящее время в большинстве случаев также и подробную программу их поведения при решении задач определенного класса, то мы обнаружим некоторые черты, общие как для сигналов в кибернетических устройствах, так и для психического отражения, поскольку последнее представляет собой в определенном смысле оперирование сложными системами сигналов.

Любой сигнал в технике или в мире животных имеет отражательную (или информационную) и регулирующую (управляющую) функции. Сигналы имеют две тесно связанные друг с другом стороны, которые можно назвать содержанием сигналов и их формой; под последней понимается способ существования сигналов и то, как в сигналах выражается их содержание. Содержание сигналов имеет два основных аспекта, которые являются общими как для живых, так и для неживых систем управления. Первый аспект состоит в том, что качественно определенным вещам и их свойствам соответствует определенная организация системы, в которой перерабатываются и реализуются сигналы, информирующие об этих свойствах.

Это соответствие характеризуется тремя моментами. Во-первых, к данному свойству (параметру) приспособлено, пригнано специальное воспринимающее устройство — датчик, измерительный прибор, рецептор (у живых организмов). Во-вторых, полученные сигналы направляются к вполне определенным блокам центральной переработки (у животных и у человека к соответствующим мозговым центрам: зрительному, слуховому и т. д.). В-третьих, реализация содержания сигнала (его на-

значения) завершается на выходе системы в ее исполнительном звене: выработанный центральной инстанцией управляющий сигнал адресован тому или иному эффектору, который прямо или косвенно связан со свойством управляемого объекта, отображенным во входных сигналах. Это качественная, или структурная, сторона изоморфизма между определенным родом свойством и его выражением в сигналах.

Второй аспект содержания сигналов состоит в следующем. Количественной характеристике того или иного воздействия соответствуют такие состояния данного рода сигнала, структура которых отображает количественные изменения какого-либо свойства системы — ее температуру, давление и пр. Это количественная сторона изоморфизма между оригиналом и сигналом (сигналами).

Форма сигнала характеризуется тремя элементами: физической природой носителя сигнала (и соответственно преобразованием физической модальности, или природы, сигнала), способом модуляции и способом кодирования. Одно и то же содержание может быть представлено с помощью различных физических агентов независимо от абсолютной величины энергии (например, передано по линиям высокого напряжения или по линиям слабых токов) и с помощью различных кодов. Иначе говоря, содержание сигналов инвариантно относительно преобразований их формы (при отсутствии или незначительном уровне помех).

Таким образом, для сигналов, а следовательно, для процессов преобразования информации и процессов управления существенны не физическая природа их носителей, а функциональная организация системы управления и связи, не абсолютные величины параметров, характеризующих физические состояния сигнала (сигналов), а сами отношения (структура) этих состояний. Исполнительные устройства с помощью приданных им местных источников энергии усиливают управляющие сигналы до необходимой величины в соответствии с соотношением их состояний. В этом заключается одно из важных отличий процессов управления и связи от обычных физических и химических взаимодействий.

Психическое отражение имеет еще один специфический признак — наличие идеальной формы отражения, в которой для субъекта выражено предметное содержание. Это означает, что в нейродинамических состояниях отражательного аппарата *выделяются структуры* (упорядоченные отношения), изоморфные отношениям (структурам) в сфере вещей, и оба ряда отношений *соотносятся* друг с другом. Свойство «быть идеальным образом объекта» и есть способность высокоорганизован-

ных систем применять отпечатки, продукты переработки внешних воздействий, в функции заместителей, представителей, или моделей, вещей.

К основным факторам, реализующим свойство «быть идеальным образом предмета», относится контактная рецепция, функция памяти, осуществляющая актуализацию прошлого опыта, и — что особенно существенно — ориентировочная потребность. Для последней характерна направленность, обращенность системы к внешнему миру. Это состояние направленности и реализует функцию замещения в виде соотнесения отпечатка с соответствующим ему внешним объектом. Благодаря функции соотнесения непосредственные чувственные сигналы приобретают свойство предметности, а надстраивающиеся над ними второсигнальные (понятийные) формы получают семантическое значение, смысловое содержание.

Состояние *ориентировочной потребности* (*поисковой активности*) есть особое состояние неустойчивости самоорганизующейся системы. Оно обуславливает возникновение так называемой *проблемной ситуации* и служит источником поисков недостающих факторов (звеньев) в поведенческой или теоретической задаче; является условием соотнесения отпечатка с объектом; определяет выработку новых критериев оценки (выбора) действий в ходе взаимоотношения системы с изменяющейся средой. Расшифровка сущности и структуры состояния потребности, в том числе ориентировочной, равносильна раскрытию законов самоорганизации систем управления высокого порядка сложности. К таким системам относятся различные формы жизни на Земле, поэтому указанная задача должна решаться совместными усилиями биологов, психологов и специалистов в области кибернетики.

Отсутствие признака предметности, или семантической стороны, информации в современных системах связи и управления свидетельствует лишь о том, что они лишены самостоятельности: не имеют свойств подлинной самоорганизации, которыми обладают живые системы, и в частности человек, создающий и использующий эти устройства. Попытки представить операцию соотнесения (истолкования, интерпретации), реализующую смысловую сторону информации, лишь как простое перекодирование информации несостоятельны. Причина этого заключается в том, что перекодирование есть преобразование формы сигнала, а не его смыслового содержания.

Возникшая в связи с развитием кибернетики современная статистическая теория информации имеет дело не со всеми аспектами понятия отражения (отображения). Современная

теория информации отвлекается от качественного разнообразия сообщений; от их смысловой, или семантической, стороны; от существенности данного положения в определенной системе знания и от ценности (полезности) информации для получателя, т. е. от так называемой прагматической стороны информации. Непосредственно, явно с помощью методов теории информации решаются задачи, связанные с формой отражения. К ним относятся: задачи на определение скорости передачи информации, пропускной способности каналов связи, эффективности технических схем кодирования и декодирования, задачи по выработке помехоустойчивых кодов и т. д.

Однако благодаря большей или меньшей степени соответствия между содержанием и формой его выражения в сигналах последняя в неявном виде «схватывает» и дает возможность количественно оценивать также и содержательные моменты сообщений. Вследствие отвлечения от указанных четырех элементов содержания сигналов, представляющего собой весьма сильную абстракцию, современная теория информации может применяться лишь к достаточно несложным смысловым задачам, к таким, например, где содержание объекта представляет такую структуру, которая наиболее полно соответствует логико-математической структуре, или форме, представления содержания. Примером таких задач являются задачи, относящиеся к процедуре выбора<sup>1</sup>, к определению пространственной локализации объекта и др. При этом сама операция соотнесения знаковой структуры с объектом (конкретно-эмпирическим или абстрактным) непосредственно не дана, но из этой структуры легко усматривается возможность такой операции соотнесения, истолкования.

В более сложных задачах возникает необходимость количественной оценки также и других элементов содержания; поэтому представляют интерес первые попытки расширения рамок теории информации и наметившиеся в связи с этим перспективы ее дальнейшего развития.

В работах Р. Карнапа и И. Бар-Хиллела<sup>2</sup> сделана попытка определения меры содержательности предложения (суждения). Знание об объекте в рамках данной системы знания можно выразить с помощью конечного числа суждений, построенных на основе довольно простого языка. Тогда мера содержательности  $i$ -го предложения может быть, в частности, определена

---

<sup>1</sup> См. А. М. Яглом и И. М. Яглом, Вероятность и информация, гл. III (задачи 19, 20, 21).

<sup>2</sup> См. Л. Бриллюэн, Наука и теория информации, стр. 384—389.

как некоторая функция от числа предложений, обусловленных  $i$ -м предложением. Аналогично, на наш взгляд, может оцениваться (в первом приближении) степень существенности данного положения в формальной системе знания, если кроме указанного условия известно, к какому уровню логической субординации внутри данной системы знания принадлежит то или иное положение. Интересна попытка А. А. Харкевича определить меру ценности прагматической стороны информации через приращение вероятности достижения цели на основе данной информации<sup>1</sup>, а также подход М. М. Бонгарда к формализации полезной информации<sup>2</sup>. В варианте определения информации, предложенном А. Н. Колмогоровым, информация представляет собой не скалярную, а векторную величину, позволяющую учитывать факт качественной разнородности событий и, следовательно, возможность или невозможность сопоставлять различные информации.

Дальнейшая разработка теории информации, как и кибернетики в целом, тесно переплетается с общим прогрессом теоретического знания во всем комплексе современных наук. Этот прогресс органически связан с дальнейшей формализацией теоретического знания, начиная от частичного и несистематического применения логико-математических методов, использования языка символов, формул, графиков и т. п. и вплоть до аксиоматического построения систем знания (например, аксиоматическое представление аналитической механики или термодинамики, не говоря уже о формальных системах, или исчислениях, в формализованной математике и логике). Сущность указанной тенденции состоит не только в расширении и углублении формализации, но и в стремлении к таким уровням формализации знания, когда логико-математическая форма (структура) знания наиболее полно (насколько это возможно) соответствует содержанию (структуре) рассматриваемых объектов.

В этом направлении уже проделаны ощутимые шаги. Основой метода формализации служит структурный, системный подход к познаваемым объектам. В общем плане такой подход разрабатывается в так называемой общей теории систем (известного биолога-теоретика Л. Берталанфи и его школы)<sup>3</sup>;

---

<sup>1</sup> См. А. А. Харкевич, О ценности информации, «Проблемы кибернетики», вып. 4, 1961.

<sup>2</sup> См. М. М. Бонгард, О понятии «полезная информация», «Проблемы кибернетики», вып. 9, 1963.

<sup>3</sup> L. Bertalanffy, Allgemeine Systemtheorie, «Deutsche Universitätszeitung», 12. Jahrg., N 5—6, 1957; «General Systems», vol. 1, Ann Arbor Michigan, 1956.

в кибернетике он имеет место в применении к процессам управления и связи. Такой подход по существу давно господствует в области теоретической физики.

С точки зрения структурного подхода любой объект рассматривается как определенным образом организованная относительно устойчивая система компонентов, включающая в себя различные подсистемы. Так, в теоретической физике природа физического объекта, его функциональная структура, раскрывается через количественные характеристики, и в первую очередь через определение связей между компонентами системы и отношений между ее различными свойствами (параметрами), — что выражается через функциональные зависимости, или уравнения связи. При этом существенно знать характеристические параметры данной физической системы, а также установить условия и границы применимости найденных уравнений связи. Все это осуществляется с помощью математических методов и способов выражения.

В математической логике наряду с совершенствованием методов оперирования с логическими отношениями между суждениями (логика высказываний) и понятиями, входящими в суждения (логика предикатов), возникает задача по разработке способов оперирования с понятиями конкретных областей знания, по построению одних понятий из других и т. п. Эта задача тесно связана с проблемой создания так называемых информационно-логических языков для конкретных областей знания.

По мере все более интенсивного проникновения методов математики, кибернетики и теоретической формальной (символической) логики в теоретическую сферу всех областей знания содержание знания о различных объектах все более и более будет принимать вид логико-математических структур. Эти структуры в рамках данной науки будут представлять собой такие единицы знания, в которых содержание и форма отражения в значительной мере окажутся слитыми. Это значит, что эти структуры в их простейшем, каноническом виде могут легко интерпретироваться в различных областях действительности, непосредственно связываться с эмпирическим материалом науки. Таким образом, эти формализованные структуры знания явятся глубоко содержательными и формами познавательной деятельности.

В сфере теоретического познания можно обозначить два крайних полюса выражения знания: 1) содержательно-описательный способ (уровень) и 2) структурно-функциональный способ, основанный на логических и математических методах и на языке символов, формул, таблиц и других элементов

формализованного языка. При этом следует со всей определенностью подчеркнуть, что на языке структурных и количественных отношений, имеющих свою материальную интерпретацию, более точно и глубоко отображается качественная сторона, природа вещей.

Разные науки в различной степени подготовлены к формализации их теоретической области, но во всех них проявляется эта тенденция: математические и логические методы и исчисления стремительно проникают в такие области знания, в которых ранее они применялись лишь в незначительной степени (биологические науки, языкознание, экономическая наука и другие социальные дисциплины). На путь создания формализованного языка вступила химия, в которой осуществляется разработка машинного информационного языка, базирующегося на структурных формулах химических соединений<sup>1</sup>. В последнее время интенсивно исследуются возможности расширения информационного языка в химии: кроме сведений о химическом составе и химических реакциях имеются попытки выразить сведения о механизме химических реакций, свойствах поведения физико-химических систем, технических средствах осуществления реакций и т. д.

Ясно, что процесс формализации на любом из его этапов не может исчерпать всего богатства содержания объекта. Но несомненно и то, что формализация теоретического знания необходима для решения все более сложных теоретических и практических задач.

Хотя выработка теоретического языка наук обусловлена самим прогрессом знания в этих науках, значительная роль здесь будет принадлежать содружеству — а быть может, и новому синтезу — математики, теоретической (математической) логики, а также теории информации и других разделов кибернетики, которые сообща помогут адекватно выразить как содержание знания, так и сам процесс его получения. Для отображения динамики становления понятий (и знания в целом), учета параметра времени, раскрытия сложных отношений логической субординации требуется разработка необходимых для этого логико-математических методов.

Изыскание таких методов в логике ведет к качественно более высокому уровню исследования мышления, — подобно тому как введение буквенных исчислений в математике резко рас-

---

<sup>1</sup> См. Л. И. Гутенмахер, Электронные информационно-логические машины, М., 1960, стр. 167—183; В. А. Успенский, К проблеме построения машинного языка для информационной машины, «Проблемы кибернетики», вып. 2, 1959, стр. 39—50.



ширило возможности ее приложений. Указанные методы, решая по существу некоторые задачи диалектической логики, будут иметь существенное значение для ее дальнейшего развития. Диалектический материализм, диалектическая логика, охватывая весь объем, весь спектр закономерностей отражения и познания (в частности, эмпирического и теоретического, неформализованного и формализованного знания и т. д.), существенно обогатятся методологически осмысленными результатами бурно развивающихся логики, математики, кибернетики, теории информации и других новейших областей знания. Это поможет увеличить строгость, точность философского мышления, его конструктивные возможности.

А. А. БРУДНЫЙ

## О некоторых приложениях теории информации

Марксистская философия всегда придавала большое значение процессам общения, отмечая их специфически важную роль в осознании человеком своей личной индивидуальности, в общественно-трудовой практике людей, в формировании и развитии человеческого мышления. Естественно, что описание процессов общения в терминах теории информации представляет интерес и с философской точки зрения; возможность подобного описания убедительно обоснована в работах Н. Винера<sup>1</sup> и К. Черри<sup>2</sup>. К числу методологически существенных объектов описания принадлежат *коммуникативные процессы*.

Коммуникативные процессы классифицируются по различного рода признакам; таких классификаций существует несколько. Заслуживает внимания подразделение коммуникативных процессов на *аксиальные* и *ретиальные*. Аксиальный (от латинского axis — ось) коммуникативный процесс осуществляется путем передачи сигналов по строго заданным единичным адресам. Ретиальный (от латинского rete — сеть, невод) коммуникативный процесс предполагает передачу сигналов, адресованных некоторому множеству в е р о я т н ы х приемников информации. Аксиальные и ретиальные коммуникативные процессы широко распространены. Их можно наблюдать, например, в животном организме, где «отсутствие точного адресата является наиболее существенным отличием гуморальных связей от нервных. Нервное влияние всегда строго адресовано»<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> См. *Н. Винер*, Кибернетика и общество, гл. III, IV, VII, X.

<sup>2</sup> См., в частности, *C. Cherry*, Teoria informacji jej podłoże społeczne i zastosowania w socjologii, «Studia filozoficzne» N 4, 1959, S. 103—125.

<sup>3</sup> *А. А. Ухтомский*, Собр. соч., т. 4, стр. 8.

Итак, нервным связям присущи черты, характерные для аксиальных коммуникативных процессов. Гуморальные связи строятся по ретиальному принципу. Так, железа внутренней секреции вырабатывает определенное вещество, поступающее в кровь, и этот «гуморальный сигнал» (по терминологии А. А. Ухтомского) распространяется по всему организму, соприкасаясь со всеми органами и тканями, но воздействуя лишь на некоторые из них. Следует, впрочем, оговорить, что коммуникативные процессы, о которых более подробно будет сказано ниже, обладают качественными особенностями, несопоставимыми с функциональной спецификой нервной и гуморальной регуляции.

Обмен мыслями в обществе происходит при помощи сигналов личной и коллективной обращенности. Сигналы личной обращенности, т. е. адресованные именно данному индивиду, типичны для аксиальных коммуникативных процессов, например для диалогической речи. Сигналы коллективной обращенности, адресованные «всем присутствующим» или «всем радиослушателям», вовлекают в ретиальный коммуникативный процесс ту группу индивидов, для которой семантически существенна передаваемая информация.

Существует предположение, что возникшая у предков человека потребность что-то сказать, о которой писал Энгельс, реализовалась в виде сигналов коллективной обращенности и исторической первоосновой речевого общения людей явилась, таким образом, ретиальная коммуникация. Не входя в обсуждение этой гипотезы, следует подчеркнуть, что с обозримо давних пор сигналы личной обращенности доминировали в процессах общения: аксиальные коммуникативные процессы имели для индивида большее информативное значение, нежели ретиальные. Это соотношение сохраняло свою устойчивость исключительно долго и стало стремительно расшатываться лишь на протяжении последних 30—40 лет, когда вместе с грандиозными социальными и техническими переменами скачкообразно увеличился объем информации, циркулирующей в обществе. Значение ретиальной коммуникации существенно возросло и обнаруживает очевидную тенденцию к дальнейшему росту. Радиовещание, периодическая пресса, кинематография, телевидение резко расширили возможности передачи сигналов коллективной обращенности. Их влияние на мысли и поступки человека становится важной социологической проблемой.

С коммуникативными процессами особо тесно связаны некоторые особенности высшей нервной деятельности людей, в частности имитационные и речевые рефлексy. Экспериментальное изучение второй сигнальной системы, как известно, не при-

носит концептуально новых результатов<sup>1</sup> уже на протяжении довольно многих лет. Можно предположить, что здесь в числе других обстоятельств сказалось и то, что традиционным объектом экспериментального анализа продолжала оставаться высшая нервная деятельность отдельного индивида. Действительно, каждому отдельно взятому индивиду присуща вторая сигнальная система. Но речевая деятельность может быть полноценно изучена лишь как комплексная функция индивидов. Не является ли диалогическое речевое общение комплексным рефлекторным процессом со своими собственными закономерностями? Иными словами, не обладает ли речевая деятельность людей чертами, которые не выявляются при исследовании речевой деятельности отдельного человека? Это вполне вероятно. Более того, это почти очевидно, если имеются в виду люди, включенные в аксиальный коммуникативный процесс.

Рассматривая человеческое мышление в коммуникативном аспекте, надо упомянуть о так называемой проблеме усилителя. Л. Бриллюэн в работе «Наука и теория информации» предложил различать абсолютную и распределенную информацию, понимая под *абсолютной информацией* любую информацию, доступную какому-либо человеку на Земле, а под *распределенной информацией* — произведение количества абсолютной информации на число людей, которые ею располагают<sup>2</sup>. Интуитивно ясно, что обмен мыслями в обществе увеличивает количество распределенной информации. Следовательно, коммуникативные процессы как бы подключают мышление индивида к своеобразному усилителю, ведь (в операциональном смысле) информация есть то, что увеличивает вероятность правильного решения задач. Представим, далее, что обмен мыслями между некоторым числом индивидов позволит в определенный срок решить задачу, неразрешимую каждым из них в отдельности; в такого рода ситуациях суть «проблемы усилителя» составляют распределение и обработка информации.

Проблема усилителя интересна в свете перспектив кибернетического моделирования высших функций головного мозга. По-видимому, комбинация ретинальных и аксиальных коммуникативных процессов, соединяющих ряд информационно-логических машин, может создать оптимальные условия для моделирования наиболее сложных форм человеческого мышления.

---

<sup>1</sup> Иными словами, накапливаются экспериментальные данные, не образующие основу для сколько-нибудь широких теоретических обобщений.

<sup>2</sup> См. Л. Бриллюэн, Наука и теория информации, стр. 344—345.

А. И. ПРОХОРОВ

## **О проблеме моделирования мышления и жизни**

В настоящее время все большее значение приобретают конкретные философские работы по анализу структуры и путей развития современного общества, и в частности конкретные разработки вопросов, относящихся к оценке роли и места науки и техники в нашей стране в период перехода от социализма к коммунизму. Одним из такого рода вопросов, требующих как конкретно-научного, так и методологического исследования, является вопрос о возможностях моделирования жизненных структур, процессов, функций, о возможности искусственного создания жизни, о перспективах построения автоматов, способных решать сложные проблемы науки и техники.

Уже сейчас ученые и инженеры творят с помощью машин — вычислительных и управляющих. Уже сейчас можно видеть, насколько грандиозны даже ближайшие перспективы развития кибернетической техники. Осуществление этих видимых в настоящее время перспектив должно коренным образом изменить характер процессов производства, облик научно-исследовательских работ, методы управления экономикой и т. п., словом, отразиться на самых различных сторонах человеческой деятельности.

В настоящее время на земном шаре имеется не менее ста тысяч сложных современных — электронных и иных — вычислительных машин; людей же на земле более трех миллиардов. Правда, имеющиеся вычислительные машины пока еще далеки от совершенства и во многих случаях больше времени находят в ремонте, чем человек вне производства. Но уже сегодня роль этих машин исключительно велика. И есть все основания думать, что относительный разрыв между числом вычислительных машин и числом людей в ближайшие 50 лет сократится

с  $1:5 \cdot 10^4$  до  $1:100$ . Если к этому прибавить огромный рост энерговооруженности на душу населения, который произойдет за это время, а также резкое расширение пространственных возможностей человечества, связанное с выходом человека в космос, то предстоящие сдвиги в области техники и науки выглядят поистине фантастическими. В этих условиях стоит серьезно задуматься над возможностями, которые открывает перед человеческим знанием и общественным производством кибернетика.

Прежде всего возникает вопрос: существуют ли принципиальные ограничения на пути моделирования человеческого мышления и создания искусственных материальных систем, посягающих жизнеподобный характер и обладающих способностями творческого решения задач? Этот вопрос, естественно поставленный всем развитием кибернетики, в настоящее время является предметом серьезного обсуждения. Научная дискуссия, которая упорно ведется вокруг возможностей моделирования функции мышления с помощью кибернетических устройств<sup>1</sup>, вполне своевременна.

При обсуждении указанной проблемы немаловажное значение имеет уточнение того содержания, которое вкладывается в понятие машины. В связи с развитием автоматизации и кибернетики понятие *машина* претерпело существенное изменение. В XIX в. были известны в основном два рода машин: машины-двигатели и рабочие машины, обычно различным образом комбинировавшиеся друг с другом. Разъясняя понятие машины, Маркс писал: «Всякое развитое машинное устройство состоит из трех существенно различных частей: машины-двигателя, передаточного механизма, наконец машины-орудия, или рабочей машины»<sup>2</sup>. «...Рабочая машина — это такой механизм, который, получив соответственное движение, совершает своими орудиями те самые операции, которые раньше совершал рабочий подобными же орудиями»<sup>3</sup>. Маркс рассмотрел различные виды кооперации рабочих машин и систем машин, включая автоматические системы машины.

---

<sup>1</sup> См. В. М. Глушков, Мышление и кибернетика, «Вопросы философии» № 1, 1963. Проблема моделирования мышления занимала видное место в работе теоретической конференции по философским вопросам кибернетики, которая состоялась 1—2 июня 1962 г. в Москве (см. В. В. Бирюков, Конференция по философским вопросам кибернетики, «Вопросы философии» № 11, 1962). См. также статьи В. М. Глушкова, Л. Б. Баженова, А. А. Уемова и ряда других авторов, опубликованные в настоящем издании.

<sup>2</sup> К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 23, стр. 384.

<sup>3</sup> Там же, стр. 385.

Тот вид современных машин, который можно назвать машинами для переработки информации, не получил не только в XIX в., но и в начале XX в. сколько-нибудь заметного развития. Лишь с 40-х годов нашего столетия началось бурное развитие электронной вычислительной техники и вообще техники обработки информации самого различного рода. Быстродействующие вычислительные, информационно-логические и управляющие машины создаются не для осуществления процессов преобразования энергии из одной формы в другую с целью приведения в действие машин-орудий и не для выпуска промышленной продукции, а ради целей совсем иного рода: они используются для сбора, хранения и обработки сложной и обширной информации, для автоматизации процессов вычисления и управления. Тем самым происходит расширение понятия машины; изменяется его содержание. Современные кибернетические машины «моделируют» не физические воздействия мускульной силы человека, а отдельные процессы его интеллектуальной деятельности. Вот почему ссылка на приведенное выше Марксово понимание машины при обсуждении вопроса о возможностях кибернетических устройств в моделировании мышления и разумного поведения, которые иногда используются для оправдания ограниченности указанного моделирования, нам кажется «репликой в сторону». Современная наука в понятие машины вкладывает более широкое по сравнению с наукой XIX в. содержание. Рассматривая машину, мы особое внимание обращаем теперь на осуществляемые с ее помощью информационные процессы, на соотношение в ней процессов преобразования информации и процессов энергетического характера.

Для современной проблемы моделирования мышления значение имеет не Марксово понятие рабочей машины, а тот его тезис, согласно которому машина является продолжателем естественных сил человека. Этот тезис с развитием кибернетики остался не только не поколебленным, а, наоборот, получил блестящее подтверждение и развитие в создании современных вычислительных, управляющих и информационно-логических машин, гигантски расширяющих интеллектуальные силы человека.

Всякое серьезное обсуждение вопроса о возможностях моделирования мышления, как правило, наталкивается на одну весьма существенную трудность. Она заключается в том, что выработанные психологией и нейрофизиологией понятия о сознании и мышлении оказываются неудовлетворительными с точки зрения требований, предъявляемых современной наукой к понятиям и определениям. Любое понятие или определение должно быть строгим и точным. Но строгое и точное

определение или понятие может быть выработано только тогда, когда мы имеем достаточно полное и ясное представление о процессе или явлении, которые мы изучаем или о которых идет речь. В противном случае вышеупомянутая (как впрочем и любая другая) дискуссия теряет всякий смысл. Естественно, конечно, что эта трудность преходяща, так как недалеко то время, когда человечество будет с определенной степенью точности знать все необходимое о сознании и мышлении. Но пока дать им точное определение или выработать достаточно удовлетворительное понятие не представляется возможным. Главная причина этого состоит в недостаточной изученности физиологических механизмов, лежащих в основе процессов сознания и мышления. Работы по моделированию различных сторон сознания и мышления могут только продвинуть нас в понимании отражательно-психологической деятельности человека, не говоря уже о практическом значении этих работ.

Однако, несмотря на эту трудность, в настоящее время можно считать оправданным тезис о том, что не существует научно обоснованных ограничений, относящихся к принципиальной возможности создания искусственных высокоорганизованных материальных систем, обладающих свойствами, в известном смысле аналогичными проявлениям сознания, мышления.

Отрицание этого тезиса вряд ли совместимо с материализмом. Только, быть может, следует быть более корректными в выборе терминов. Категории *сознание*, *мышление* были выработаны в применении к человеку; есть основание сохранить связь с человеком указанных категорий и в дальнейшем. Что же касается искусственных материальных систем, обнаруживающих свойства, аналогичные определенным свойствам мышления человека, то в применении к ним точнее будет говорить о моделировании мышления и его высших форм.

Еще Н. Винер обратил внимание на противоречивость требований расширения самостоятельности машин, которое неизбежно вытекает из развития кибернетической техники и ее приложений, при одновременном сохранении их полной «поплушности» человеку. Развитие гибкости, универсальности, обучаемости машин неизбежно связано с расширением их «самостоятельности». В этих условиях контролирование работы машины человеком становится все менее конкретным, приобретает все более обобщенный характер.

Речь здесь, конечно, идет не о том, «вытеснит» ли «общество машин» человеческое общество. Речь идет о том, что резко усложняются задачи интерпретации работы машины, определе-



ния нужного направления ее работы, установления того, действительно ли машина работает в требуемом направлении. Ведь с усложнением задач, решение которых поручается машине, все чаще будет возникать ситуация, когда человек не будет знать, по какому пути пойдет машина в решении задач, какие вообще возможны пути и в чем состоит каждый из них. В этих условиях все труднее будет оценивать, работает ли машина в каждом данном случае в нужном направлении.

В настоящее время широко обсуждается вопрос о возможности непосредственного использования живых систем в технике, прежде всего при построении систем связи и управления. Во многих странах уже начаты первые реальные исследования в этом направлении. При этом выяснилось, что прямое конструирование вычислительных машин (на известных нам сегодня принципах) из биологических элементов, выполняющих функции определенных элементов вычислительной техники, оказывается невозможным. Помимо чисто практических трудностей работы с препаратами нервных тканей и с нервными клетками имеется принципиальное затруднение, связанное с тем, что нервные клетки имеют множество свойств, отличающих их от основных функциональных элементов вычислительных машин: они слишком сложны, чтобы точно реализовывать функции, которые осуществляют элементы современных автоматов. Однако имеется и другой подход — моделирование с помощью систем нервных клеток известных нам технических элементов. Этот подход открывает новые возможности не только в исследованиях по созданию более современных вычислительных устройств, но и по созданию искусственных живых (или жизнеподобных) систем.

Л. Б. БАЖЕНОВ

**О некоторых  
философских аспектах  
проблемы  
моделирования  
мышления  
кибернетическими  
устройствами**

Возникновение кибернетики выдвинуло ряд проблем, требующих глубокого философского осмысления и критического анализа. Одно из центральных мест в этом ряду проблем занимает, на наш взгляд, проблема мышления.

Существо этой проблемы сводится, коротко говоря, к вопросу о возможности осуществления функций мышления универсальными вычислительными машинами. Обилие разнообразных точек зрения, существующих в этой области, может быть сведено к двум основным тенденциям: а) принципиальное отрицание такой возможности; б) принципиальное допущение такой возможности.

Нам представляется целесообразным провести обсуждение рассматриваемой проблемы в форме анализа основных аргументов, выдвигаемых против возможности осуществления функций мышления кибернетическими устройствами.

Эти аргументы можно подразделить на два типа.

1. Аргументы, состоящие в указании каких-то конкретных характеристик мышления, которые никогда не смогут быть воспроизведены искусственными кибернетическими системами. Назовем их условно «конкретными» аргументами.

2. Аргументы, не указывающие никаких конкретных функций мышления, которые не могли бы быть воспроизведены машинами, но тем не менее утверждающие, что все то, что будет делать машина, не будет мышлением.

Критический анализ «конкретных» аргументов достаточно обстоятельно осуществлен в целом ряде недавно выпущенных работ<sup>1</sup>. Поэтому по их адресу мы ограничимся краткими замечаниями. Обычно указывается, что машина не способна обу-

---

<sup>1</sup> См., например, А. Тьюринг, *Может ли машина мыслить?*; З. Ровенский, А. Уемов, Е. Уемова, *Машина и мысль*, М., 1960.

чаться, не способна к творческой деятельности, не способна ставить вопросы, не способна критически относиться к полученным результатам, не способна к индуктивным умозаключениям, не способна к обобщениям.

Все эти возражения именно в силу своего конкретного характера могут быть уже сегодня достаточно конкретно опровергнуты. Мы не будем рассматривать их шаг за шагом, а сошлемся лишь на один чрезвычайно важный результат — теорему Маккалока — Питтса.

У. С. Маккалок и У. Питтс ввели понятие *формальной нервной сети*. Формальная нервная сеть представляет собой систему отдельных элементов — моделей нейронов — как-то связанных между собой. Система имеет определенное число входов и определенное число выходов. В зависимости от схемы соединения «нейронов» друг с другом определенной последовательности сигналов на входе будет отвечать определенная последовательность сигналов на выходе. В рамках построенной ими теории формальной нервной сети У. С. Маккалок и У. Питтс сформулировали и доказали теорему, названную их именами. Теорема Маккалока — Питтса утверждает, что любая функция естественной нервной системы, которая может быть логически описана с помощью конечного числа слов, может быть реализована формальной нервной сетью. Это означает, что нет таких функций мышления, которые, будучи познаны и описаны, не могли бы быть реализованы с помощью конечной формальной нервной сети, а значит, и в принципе воспроизведены машиной.

Отрицать это можно, только либо опровергая теорему Маккалока — Питтса (чего пока никто не смог сделать), либо постулируя непознаваемость законов функционирования центральной нервной системы, а то и вовсе отсутствие таких законов (что делалось и делается многими философами-идеалистами — безуспешно).

Перейдем к рассмотрению аргументов, приводимых некоторыми философами<sup>1</sup>.

\* \* \*

Прежде всего рассмотрим аргумент, апеллирующий к качественному своеобразию форм движения материи. Этот аргумент приводится очень многими философами, пишущими по вопросам

---

<sup>1</sup> Аргументы философов теологического толка, утверждающих невозможность искусственного мыслящего автомата с позиций субстанциональности мышления, т. е. с позиций признания мышления не функцией высокоорганизованной материи, а некой самостоятельной субстанцией, мы рассматривать не будем вследствие их очевидной несостоятельности.

кибернетики и делающими из этого своеобразия вывод о том, что обсуждаемая здесь проблема вообще недискуссионна. Сошлемся, например, на М. Н. Андрющенко: «Вопрос о том, может ли машина мыслить или обладать сознанием, хотя бы в принципе, не является дискуссионным. Это вопрос о том, является ли идеальное свойством мозга, т. е. свойством высокоорганизованной материи, или это свойство может быть присуще и низшим формам движения материи, таким, как физическая...

Как бы мы ни усложняли конструкцию машины, мы остаемся в рамках неорганической природы, имеем дело с процессами физической, химической природы, функцией которых не может быть психическое, идеальное (понятие), являющееся продуктом процессов качественно иной природы»<sup>1</sup>.

По адресу ученых, считающих данный вопрос дискуссионным, нередко следует обвинение в механицизме, в возврате «на несколько столетий назад»<sup>2</sup> и т. д. Попробуем разобраться в этом вопросе.

Сделаем предварительно одно замечание относительно роли механицизма с ретроспективной точки зрения. Механицизм означает сведение качественно более сложных форм движения к более простым. Он становится реакционным тогда, когда конкретно раскрыта природа этой сложности; но, когда эта сложность еще конкретно не раскрыта, механистический подход представляет первый шаг действительно научного познания<sup>3</sup>. Противостоящая же механицизму абсолютизация качественной специфики той или иной предметной области всегда играла в истории науки тормозящую роль. Раскрытие действительной специфики более сложной формы движения никогда не достигается за счет простого подчеркивания этой специфичности, когда о ней конкретно еще мало что можно сказать. Это раскрытие происходит в (первоначально неизбежных) попытках «свести» более сложное к более простому, ибо как раз в них и выявляются те конкретные черты, которые этому сведению не поддаются. Попытки установить эти черты заранее вряд ли можно считать плодотворными<sup>4</sup>.

---

<sup>1</sup> М. Н. Андрющенко, Некоторые философские вопросы кибернетики, «Философские науки» № 3, 1959, стр. 100.

<sup>2</sup> См., например, В. Н. Колбановский, О некоторых спорных вопросах кибернетики, «Философские вопросы кибернетики», стр. 240.

<sup>3</sup> См. К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 20, стр. 567.

<sup>4</sup> Яркой иллюстрацией изложенных здесь соображений является развитие научных представлений на природу теплоты. Господствовавшая в конце XVIII — начале XIX в. теория теплорода являлась с интересующей нас точки зрения абсолютизацией качественной специфики тепловых явлений. Носителем тепловых свойств считалось особое качественно своеобразное вещество — теплород. Гигантский шаг физики

Предположим теперь, что в функционировании мозга есть такие специфические черты, которые принципиально не могут быть воспроизведены искусственными автоматами. Но и в этом случае раскрытие этих черт будет достигнуто только на пути воспроизведения функций мышления вычислительными машинами благодаря работе ученых, неуклонно идущих по этому пути. Сама логика развития науки, и только она, может раскрыть действительно невоспроизводимые кибернетическими устройствами черты мышления, если таковые имеются.

Но наиболее важный момент в критическом анализе рассматриваемого аргумента заключается даже не в этом. Лица, выдвигающие этот аргумент, обычно отождествляют закономерности работы вычислительных машин с электродинамическими, физическими, механическими и другими закономерностями. Именно об этом говорится в приведенной цитате М. Н. Андрющенко, в брошюре С. Г. Иванова<sup>1</sup>, в статье Э. Кольмана<sup>2</sup> и в ряде других работ. Однако это совершенно неверно. Работа кибернетических устройств, конечно, предполагает действие законов электродинамики, но она отнюдь не управляется ими. Для функционирования вычислительных машин решающее значение имеют законы хранения, передачи и переработки информации, могущие быть названы кибернетическими закономерностями. Поэтому механицизмом является скорее отрицание специфичности кибернетических закономерностей и сведение их к законам электродинамики<sup>3</sup>. Законам электродинамики подчинена работа отдельных элементов вычислительной машины или ее работа в целом, но лишь как физической системы, преобразующей энергию, что совершенно неспецифично для нее

---

вперед был связан с разработкой молекулярно-кинетической, или «механической», теории теплоты, призванной, по убеждению ее творцов, свести тепловые явления к механике атомов и молекул. Но именно на этом пути и именно трудами, казалось бы, «закоренелых механистов» была раскрыта действительная специфичность тепловых явлений, состоящая в появлении свойства необратимости протекающих процессов и нашедшая свое яркое выражение во втором начале термодинамики.

<sup>1</sup> См. С. Г. Иванов, Некоторые философские вопросы кибернетики, М., 1960, стр. 12.

<sup>2</sup> См. Э. Кольман, О философских и социальных проблемах кибернетики, «Философские проблемы кибернетики», стр. 89.

<sup>3</sup> Сходные идеи развиваются в работах И. Б. Новика («Вопросы философии» № 8, 1961) и В. А. Бокарева («Философские науки» № 2, 1962). Например, В. А. Бокарев совершенно правильно замечает: «...то, что мы наблюдаем в кибернетических машинах, является новой, более высокой, чем физическая, формой движения материи с присущими ей своими особыми законами, которые не могут быть сведены к законам физики» (стр. 93—94).

как кибернетического устройства. Функционирование же вычислительной машины именно в качестве вычислительной машины, преобразующей информацию, имеет к законам электродинамики в принципе такое же отношение, как и функционирование мозга. И мозг, и вычислительная машина представляют собой кибернетические системы, и задача кибернетики состоит именно в том, чтобы раскрыть качественно своеобразные законы их функционирования.

Следует со всей решительностью подчеркнуть, что современная кибернетика (в лице ее серьезных представителей, а не падких на сенсацию популяризаторов) весьма далека от отождествления работы мозга с работой современных вычислительных машин. Можно указать на ряд весьма серьезных качественных различий в этом направлении<sup>1</sup>.

Во-первых, различие принципов работы. Мозг есть кибернетическая система преимущественно параллельного действия: различные элементы мозга (нейроны), как правило, одновременно обрабатывают много единиц информации. Современные искусственные кибернетические системы (вычислительные машины) работают главным образом по принципу последовательного действия. Параллельное и последовательное действия не всегда являются взаимозаменяемыми, и поэтому, говорит Нейман, «можно ожидать, что логический подход и структура в естественных автоматах будут сильно отличаться от соответствующих характеристик искусственных автоматов»<sup>2</sup>.

Во-вторых, мозг и вычислительная машина имеют совершенно различные системы обозначений. В вычислительной машине система обозначений цифровая: поступающие на входы машины сигналы имеют дискретное (цифровое) представление. Для того чтобы методом цифрового представления решать задачи той степени сложности, с какой встречается мозг, необходима была бы точность порядка  $10^{-10} - 10^{-12}$ , т. е. точность, доходящая до 10 — 12-го десятичного знака. «Этот вывод, — замечает Нейман, — стоило получить именно потому, а не несмотря на то, что он абсолютно неправдоподобен»<sup>3</sup>.

Мозг работает, по-видимому, не методом цифрового представления, а методом счета; это означает, что сигналы в мозгу

---

<sup>1</sup> Мы используем в дальнейшем главным образом материал, содержащийся в статье Дж. Неймана «Вычислительная машина и мозг», а также материалы симпозиума «Проектирование машин, имитирующих поведение человеческого мозга» (см. «Кибернетический сборник» № 1, 1960).

<sup>2</sup> Дж. Нейман, Вычислительная машина и мозг, «Кибернетический сборник» № 1, 1960, стр. 43.

<sup>3</sup> Там же, стр. 57.

передаются не посредством их цифрового кодирования, а путем частотной модуляции. Это приводит к понижению точности, но зато гигантски увеличивает надежность.

В-третьих, из различия применяемых систем обозначения вытекают глубокие отличия, касающиеся логико-математических особенностей работы мозга и современных вычислительных машин. В работе мозга, подчеркивает Нейман, «имеют место логические структуры, отличные от тех, с которыми мы обычно встречаемся в логике и математике... В центральной нервной системе логика и математика, рассматриваемые как языки, структурно должны существенным образом отличаться от тех языков, с какими обычно мы встречаемся в нашем опыте»<sup>1</sup>.

В этом же направлении идут и замечания ряда других кибернетиков. Так, на уже упоминавшемся симпозиуме Отто Шмитт из Миннесотского университета провел очень четкое различие между «черно-белой» логикой, по которой работают современные вычислительные машины, и «серой» логикой мозга<sup>2</sup>. Человеческий мозг в состоянии быстро принимать решения на основе недостаточных данных, способен оперировать «смутными» идеями и т. д. «Для такой работы, — говорит О. Шмитт, — элементы современных машин безнадежно громоздки и идиотски логичны»<sup>3</sup>.

Но из всего сказанного следует вывод не о наличии непреходимых принципиальных границ между работой мозга и искусственных автоматов, а вывод о необходимости более глубокого изучения работы мозга, постижения присущих ему логических структур и настойчивых попыток их моделирования.

\* \* \*

Второй философский аргумент против возможности осуществления функций мышления кибернетическими устройствами — это тезис о том, что мышление есть и может быть только функцией (человеческого) мозга<sup>4</sup>.

Между тем тезис материализма говорит о том, что мышление есть функция особым образом организо-

---

<sup>1</sup> Дж. Нейман, *Вычислительная машина и мозг*, «Кибернетический сборник» № 1, 1960, стр. 60.

<sup>2</sup> Об этом же говорил и Н. Винер на беседе в редакции журнала «Вопросы философии». Сравни также С. А. Яновская, *О философских вопросах математической логики*, «Проблемы логики», М., 1963, стр. 16.

<sup>3</sup> «Кибернетический сборник» № 1, 1960, стр. 79.

<sup>4</sup> Об этом говорится, например, в приведенной выше цитате из статьи М. Н. Андрющенко и во многих других работах.

ной материи. До сих пор с такой ступенью организации материи мы встречались только в центральной нервной системе высших организмов, но совершенно бездоказательно было бы выдвигать утверждение, что никакая другая форма столь же высоко организованной материи, как и известный нам мозг, но состоящая из иных «субстратных» элементов не возможна. Во всяком случае эту невозможность (если она имеет место) нельзя дедуцировать из общих философских соображений: она может быть получена лишь на пути конкретных исследований, т. е. опять-таки на том пути, который сторонники критикуемой нами аргументации заранее квалифицируют как бесперспективный и механистический.

Модификацией этого аргумента является утверждение о том, что только живые существа способны мыслить, а жизнь есть способ существования белковых тел и, следовательно, ни одно небелковое тело не способно ни к каким проявлениям мышления. На наш взгляд, столь прямолинейные выводы из определения жизни, которые дал Энгельс, вряд ли правомерны. Определение Энгельса выдвинуто на базе конкретного научного материала второй половины XIX в. Суть этого определения, сохраняющего, как подчеркнул Л. Ф. Ильичев<sup>1</sup>, свое философское значение и поныне, состоит в признании жизни особой формой движения материи; конкретные же черты этой особой формы движения неизбежно должны уточняться и обогащаться по мере развития науки.

В настоящее время предметом обсуждения является гипотеза о возможности кремниевой основы жизни<sup>2</sup>. Ничего несомнимого с материализмом не содержит в себе и допущение иных, естественно возникших форм организации материи, обладающих такими атрибутами жизни, как способность познавать окружающий мир, приспосабливаться к нему, воспроизводить себе подобных, прогрессивно эволюционировать и т. д.<sup>3</sup>

Нам кажется, что как раз исходя из общих философских соображений более логично допустить возможность существенно иных (по сравнению с до сих пор нам известной) форм высокой организации материи, обладающих атрибутом мышления (или каким-либо его аналогом). Вряд ли правдоподобно, что

---

<sup>1</sup> См. Л. Ф. Ильичев, Методологические проблемы естествознания и общественных наук, «Методологические проблемы науки», стр. 96.

<sup>2</sup> См., например, И. С. Шкловский, Вселенная, жизнь, разум, М., 1962.

<sup>3</sup> Заметим, правда, что подобное допущение на сегодня составляет поле деятельности не ученых, а авторов фантастических повестей и рассказов.



неисчерпаемая в своих свойствах материя имеет лишь единственную возможность достигнуть ступени «самопознания».

\* \* \*

Третий философский аргумент против возможности осуществления функций мышления кибернетическими устройствами связан, если можно так выразиться, с обращением к сознанию. Общий смысл его состоит в утверждении, что машина не мыслит и не может мыслить, она лишь выполняет известную совокупность операций и дает на выходе известную совокупность состояний, которую только человек дешифрует как решение задачи, как выводы и т. д.<sup>1</sup> Машины приходят к тем же результатам, что и человек, но внутреннее состояние того и другого совершенно различно. Люди осознают свои действия, машины нет. Тожество результатов не говорит о тождестве процессов, с помощью которых они получены.

Проанализируем это возражение. Действительно, во многих случаях тождество (сходство) отдельных результатов может иметь место при совершенно различных внутренних процессах, и каждый без труда приведет десятки подобных примеров. Но речь всегда будет идти именно о тождестве отдельных результатов. Однако не может быть, чтобы различные внутренние процессы не привели рано или поздно и к различным результатам. Если же оказывается, что две системы обнаруживают во всех возможных ситуациях одинаковое (сходное) поведение, то этого вполне достаточно и для заключения о сходстве внутренних процессов, приводящих к этому поведению. Допущение различия внутренних процессов двух систем при сходстве результатов их функционирования в потенциально неограниченной области означало бы допущение внутреннего без внешних обнаружений. Это совершенно неудовлетворительно именно с философской точки зрения; такое внутреннее без внешних обнаружений есть кантовская неуловимая вещь в себе; ее признание несовместимо с материалистической диалектикой.

Вернемся к вычислительным машинам. С одной стороны, утверждается, что сходны лишь результаты работы машины и человеческого мозга, внутренние же процессы совершенно раз-

---

<sup>1</sup> См., например, *П. В. Копнин*, Понятие мышления и кибернетика, «Вопросы философии» № 2, 1961, стр. 109—110; *С. М. Шалюгин*, О кибернетике и сфере ее применения, «Философские вопросы кибернетики», стр. 64, 80—81.

личны (чисто физические — в первом случае, мышление — во втором).

С другой стороны, признается, что любое проявление мышления может быть в принципе моделировано на универсальной вычислительной машине. Но соединение этих двух утверждений приводит к выводу, что сходство результатов работы кибернетического устройства и мозга даже в потенциально безграничной области все равно не будет означать сходства процессов, ведущих к этим результатам. Но это и означает, что мышление, как внутренний процесс деятельности мозга, отрывается от своих проявлений в поведении, превращается в таинственное, неуловимое «нечто».

В этой связи вспоминается чудесная сказка А. Волкова «Волшебник Изумрудного города»<sup>1</sup>. Один из ее персонажей, набитый соломой Страшила, удручен тем, что у него нет мозгов. Между тем его поведение является совершенно разумным, более того, в компании своих друзей (девочки Элли, Железного Дровосека и др.) он справедливо приобретает репутацию наиболее мудрого существа. Но это не устраивает Страшилу. Как и некоторые реальные, а не только сказочные персонажи, он, очевидно, считает, что сходство результатов его деятельности с результатами деятельности людей еще ни о чем не говорит. Вся суть в той шутке, которую люди называют мозгами. И он обращается к волшебнику Изумрудного города Гудвину, оказавшемуся просто ловким обманщиком, с просьбой дать ему мозги. Естественно, что дать ему настоящие мозги Гудвин не может, но в отличие от Страшилы он отлично понимает, что в этом нет никакой нужды. Он помещает в голову Страшиле под видом мозгов смесь опилок с булавками, и Страшила вполне удовлетворен. На наш взгляд, эту детскую сказку иногда поучительно вспомнить и взрослым людям.

Предположим теперь, что создана искусственная кибернетическая система, дающая все те основные результаты, что и работа нашего мозга. В этом случае у нас не будет никаких оснований считать, что мы мыслим, а эта система нет. Причем такая постановка вопроса не столь абстрактна, как могло бы показаться с первого взгляда. Человечество начало освоение космоса. Есть основания полагать, что рано или поздно мы столкнемся с непохожими на нас разумными существами. Вывод об их способности мыслить может быть сделан только на основе тождества основных результатов их поведения с нашим собственным. Если же последовательно стоять на точке зрения критикуемого здесь тезиса, то даже вывод о том, что мыслят

---

<sup>1</sup> См. А. Волков, *Волшебник Изумрудного города*, М., 1960.

другие люди, кроме меня самого, следует считать неправомерным. Тьюринг справедливо квалифицирует подобную точку зрения как солипсистскую<sup>1</sup>.

\* \* \*

Четвертый философский аргумент против возможности осуществления функций мышления кибернетическими устройствами заключается в утверждении, что мышление есть продукт развития общества, а не только функция особым образом организованной материи и поэтому бессмысленно говорить о возможности мышления у искусственно созданных автоматов. Пожалуй, наиболее резко эта точка зрения выражена в интересной статье В. А. Бокарева<sup>2</sup>.

В. А. Бокарев в отличие от ряда других авторов прекрасно понимает, что допущение каких-либо черт материальной организации мозга, якобы принципиально недоступных искусственному воспроизведению, противоречит науке и неизбежно приводит к агностицизму. Но вместе с тем он уверен в том, что все равно машина не мыслит и мыслить не может. Где же выход? Автор находит его в положении, что степень материальной организации есть лишь предварительное условие появления мышления, а основным является наличие общества и жизнь мыслящего существа в обществе. В. А. Бокарев пишет: «Итак, кибернетические устройства принципиально при любой степени их материальной организации даже тогда, когда биологам-кибернетикам удастся вырастить искусственные нервные клетки и создать достаточно большие колонии этих клеток, не будут иметь сознания»<sup>3</sup>.

Но таким образом вольно или невольно В. А. Бокарев отрывает сознание и мышление как общественные продукты от той материальной организации, функцией которой они являются. На самом деле общественный характер мышления находит свое отражение и в степени сложности материальной организации мозга. Эти аспекты нельзя отрывать друг от друга. Конечно, сколь угодно сложное кибернетическое устройство не будет обнаруживать ничего похожего на мышление, если оно будет помещено в «бедную» среду (как и люди, оторванные от

---

<sup>1</sup> См. А. Тьюринг, *Может ли машина мыслить?*, стр. 37—38.

<sup>2</sup> См. В. А. Бокарев, *О принципиальных возможностях совершенствования кибернетических устройств*, «Философские науки» № 2, 1962.

<sup>3</sup> Там же, стр. 95.

общества и выросшие среди животных, например в джунглях). Но при наличии достаточно «богатых» взаимодействий такого сложного кибернетического устройства с окружающей средой оно будет осуществлять и функции мышления.

Нам кажется, что в рассуждениях, аналогичных рассуждениям Бокарева, имеется и еще одна существенная ошибка — отсутствие строгого различия двух разных вопросов: вопроса о естественном зарождении мышления в автоматах и вопроса о его сознательном, осуществляемом человеком воспроизведении в универсальной вычислительной машине. В этом втором случае машина отнюдь не становится социальным существом, но человек, познав и запрограммировав социальную обусловленность мышления, воспроизводит ее в машине в информационном (по выражению В. А. Глушкова<sup>1</sup>) плане. Если социальная природа мышления закономерна и познаваема, то она может быть в принципе искусственно воспроизведена, как и другие его стороны. Точнее говоря, социальная обусловленность мышления не есть даже особая черта, отличная или противостоящая другим чертам мышления; она находит свое выражение и в определенном смысле лежит в основе всех его проявлений. Искусственное воспроизведение этих проявлений мышления вместе с тем будет и моделированием его социальной природы.

\* \* \*

И наконец, последний философский аргумент против возможности осуществления функций мышления кибернетическими устройствами, который мы разберем, заключается в следующем: признание такой возможности означает якобы отрицание идеального характера сознания, его вульгарно-материалистическую трактовку.

Подробный анализ этого аргумента тесно связан с рассмотрением природы идеального в свете кибернетики и теории информации. Поскольку анализ идеального представляет собой самостоятельную большую проблему, мы ограничимся здесь лишь краткими замечаниями.

В решении вопроса о природе идеального следует исходить из ленинских положений об относительности различия материального и идеального за пределами основного вопроса философии и о всеобщности для всей материи универсального свойства отражения, родственного ощущению.

---

<sup>1</sup> См. В. М. Глушков, Мышление и кибернетика, «Вопросы философии» № 1, 1963.

Эти положения позволяют философски правильно решить вопрос о природе информации. Не касаясь сейчас вопроса о структурной информации, представляющей собой меру упорядоченности процесса и составляющей его внутреннее достояние, мы попытаемся раскрыть понятие внешней, или относительной, информации, всегда связанной с отношением двух процессов<sup>1</sup>.

Пусть имеются процессы  $A$  и  $B$  со множеством некоторым образом упорядоченных различных состояний  $A(a_1, \dots, a_i, \dots, a_n)$  и  $B(b_1, \dots, b_i, \dots, b_n)$ .

Если каждому  $a_i$  соответствует определенное  $b_i$  и отношения между состояниями  $a_i$  изоморфны отношениям между состояниями  $b_i$ , то можно сказать, что процесс  $B$  несет в себе информацию о процессе  $A$ , отражает процесс  $A$ . Эта информация не заключается ни в процессе  $B$ , рассматриваемом сам по себе, ни в процессе  $A$ . Она существует именно в отношении этих двух процессов друг к другу. Взятая сама по себе, эта информация столь же объективна и материальна, как и любые другие свойства и отношения объектов или процессов.

Теперь возьмем множество состояний нашего мозга в ходе его функционирования. Мозг отражает внешний мир. Это значит, что между множеством состояний элементов мозга (нейронов) и множеством состояний некоторых внешних процессов имеется изоморфное соответствие, т. е. мозг имеет информацию об этих внешних процессах. Эта информация и заключена и не заключена в мозгу. Сколько бы мы ни исследовали мозг, как таковой, мы ее не обнаружим. Мы найдем электрические, химические и т. д. характеристики нейронов, но не обнаружим заключенной в них информации.

Для выявления этой информации надо рассмотреть отношения между мозгом и внешним миром. Именно в этом отношении и заключена информация, носителем которой является множество состояний составляющих мозг нейронов. Информация, с которой имеет дело мозг, и является тем, что мы называем идеальной стороной в его работе. Идеальное не существует, таким образом, в виде особого предмета, особой субстанции. Оно существует как сторона деятельности мозга, заключающаяся в установлении закономерных соответствий между множеством состояний внешнего мира и множеством состояний самого мозга. Идеальная информация человеческого мозга имеет в принципе тот же характер, что и относительная

---

<sup>1</sup> По вопросу о различии этих двух аспектов информации см. Л. Б. Баженов, Физика и теория информации, «Вопросы философии» № 8, 1961.

информация вообще (это и есть, на наш взгляд, конкретизация ленинской мысли об универсальном свойстве отражения, лежащем в фундаменте здания материи).

На известных ступенях исторического развития материи произошел качественный скачок, в результате которого информация, превратившись в достояние такой сложной кибернетической системы, как наш мозг, приобрела характер идеальной информации. Если мы признаем за искусственными кибернетическими системами возможность достижения степени организации, сравнимой со сложностью нашего мозга, мы должны будем признать и у процессов, протекающих в этих системах, наличие черт, аналогичных тем, которые мы у себя называем идеальными.

\* \* \*

Мы кратко рассмотрели обычно приводимые с философской точки зрения аргументы, призванные доказать принципиальную невозможность осуществления кибернетическими устройствами определенных функций мышления. Каким будет наше резюме?

Прежде всего следует отбросить иногда высказываемое мнение о недискуссионности этой проблемы. Обсуждаемая нами проблема поставлена жизнью, всем ходом развития науки и дискутируется, желают ли этого некоторые авторы или нет. Второй наш вывод касается имеющихся подчас сомнений относительно плодотворности обсуждения рассматриваемой проблемы в настоящее время. Нам это сомнение кажется необоснованным. Речь идет о перспективах научных исследований в области кибернетики, которые во многом зависят от того или иного отношения к возможности осуществления функций мышления кибернетическими устройствами. На сегодня отсутствует строгое, естественнонаучное решение данной проблемы, и это делает особенно важным ее философский, методологический анализ. Эвристическая ценность философии в том и состоит, чтобы наметить общие пути решения проблемы, когда еще отсутствует ее экспериментальное решение.

Проведенный нами анализ не преследовал цели утвердить тезис о возможности осуществления функций мышления кибернетическими устройствами; он ставил задачу показать, что отрицание этого тезиса не следует из обычно приводимых философских аргументов, что его признание вполне совместимо с основными положениями диалектического материализма.

Конечно, нельзя на основании одних философских соображений с полной уверенностью утверждать, что никогда в даль-

нейшем не будет доказана уникальность человеческого мозга и невозможность более или менее полного моделирования его основных функций на субстрате иной природы, нежели белковые образования, из которых построен наш мозг. Но во-первых, на наш взгляд, это маловероятно, а во-вторых (что в интересующем нас плане наиболее важно), такого рода доказательство никак не может быть выведено из общефилософских соображений. Если оно и может быть получено, то только на пути конкретных, естественнонаучных исследований, методологически направляемых тезисом о принципиальной возможности осуществления функций мышления кибернетическими устройствами. Невоспроизводимые на иных, чем белковые тела, субстратных элементах функции мышления (если они имеются) могут быть раскрыты только на пути неуклонно предпринимаемых попыток воспроизвести их.

А. И. УЕМОВ

## **Аналогия как метод решения проблемы соотношения машины и мышления**

Среди различных философских вопросов кибернетики большой интерес вызывает вопрос о том, может ли машина мыслить, может ли она иметь сознание. Правда, иногда говорят, что незачем тратить столько энергии на обсуждение этого вопроса, ведь практического значения на сегодняшний день он не имеет. Действительно, то или иное решение вопроса о том, может ли машина мыслить, вряд ли способно повлиять на практику конструирования логических машин сегодняшнего дня. Однако интересы человека не ограничиваются практическими (в узком смысле этого слова) вопросами. Человек хочет использовать машину не только для того, чтобы осуществить перевод книги или получить прогноз погоды, но также и для того, чтобы с ее помощью лучше понять самого себя, более точно определить свое место во вселенной.

Поэтому совершенно естественно, что по вопросу о том, может ли машина мыслить, в последнее время немало пишется и говорится, причем существует целый спектр самых разнообразных точек зрения. Однако обоснование того или иного решения этого вопроса оказывается часто весьма уязвимым. Это связано с тем, что обычно недостаточное внимание уделяется логическому анализу самого вопроса. В лучшем случае такой анализ сводится к поискам определения понятий *жизнь*, *мышление*, *сознание* и т. д. При этом в зависимости от выбранного определения ответ оказывается различным и дискуссия превращается в пустой спор о словах.

В настоящее время большинство ученых согласны с тем, что в принципе можно построить машину, которая будет моделировать любое заранее заданное поведение человека. Поиски каких-либо особых черт в поведении живого существа, которые



принципиально не могут быть промоделированы с помощью машин, сейчас уже начинают казаться анахронизмом.

Какой же путь можно предложить для анализа рассматриваемого вопроса? Известно, что поведение кибернетической системы характеризуется прежде всего соотношением между совокупностью сигналов на входе и совокупностью реакций на выходе. Если то и другое известно применительно к человеку, то принципиально возможно создать машину, в которой одинаковым (в каком-то смысле) сигналам будут соответствовать одинаковые или аналогичные реакции. И если бы человек и моделирующая его функции машина обладали не только одинаковыми или подобными функциями, но и одинаковыми схемами, т. е. одинаковыми внутренними структурами, они представляли бы собой вполне изоморфные системы.

Структуру машины мы знаем, так как сами ее составляем<sup>1</sup>, а живое существо, несмотря на колоссальные успехи в области биологических наук, в основном представляет собой то, что в кибернетике называется *черным ящиком*. Как справедливо подчеркивает Н. Бор<sup>2</sup>, мы не можем разложить этот ящик на элементы без того, чтобы он перестал быть живым существом. Как бы детально мы ни изучали нейроны головного мозга, мы не найдем в них того, что субъективно переживается как мысленное сознание. Единственный путь, который ведет к определению наличия сознания у других объектов, заключается в анализе поведения. Именно таким путем мы устанавливаем наличие сознания у других людей. Выводы от внешнего поведения к внутренней сущности могут рассматриваться как *выводы по аналогии*; рассмотрение этих выводов издавна, задолго до появления кибернетики, привлекало внимание философов<sup>3</sup>.

Практически каждый человек — за исключением солипсистов, конечно, — убежден, что другие люди имеют такое же сознание, как и он сам. Поэтому неправильно отрицать возможность определить наличие сознания у машины по ее поведению. Здесь действительно возникает та дилемма, о которой говорится в работе Тьюринга «Может ли машина мыслить?»<sup>4</sup>

---

<sup>1</sup> Впрочем, это утверждение, в общем справедливое для современных машин, может оказаться неверным для машин будущего. Дальнейшее усложнение машины может создать ситуацию, когда конструктор будет далеко не полностью осведомлен о структуре и функционировании машины.

<sup>2</sup> См. Н. Бор, *Атомная физика и человеческое познание*, М., 1961, стр. 22—23.

<sup>3</sup> См., например, С. Аскольдов, *Основные проблемы теории познания и онтологии*, СПб., 1900, стр. 131—173; Б. Рассел, *Человеческое познание*, М., 1957, стр. 516—520.

<sup>4</sup> См. А. Тьюринг, *Может ли машина мыслить?*

и в помещенной в настоящем сборнике статье И. Б. Новика<sup>1</sup>. Если мы отбросим возможность определить наличие сознания по поведению, то должны будем стать на позиции солипсизма; в противном же случае мы должны будем признать наличие сознания у машины, коль скоро эта последняя «ведет себя» так же, как человек, ибо мы можем заранее и не знать, с чем мы имеем дело — с машиной или живым существом<sup>2</sup>.

Однако, с другой стороны, несомненно и то, что одни и те же функции могут иметь место при наличии самых различных внутренних структур кибернетических систем. Те же сигналы на входе (входах) с теми же реакциями на выходе (выходах) могут быть опосредованы различными внутренними отношениями. Это положение можно выразить с помощью геометрической иллюстрации. Пусть некоторая точка *A* обозначает все то, что делается на входе данной системы, другая точка *B* — все то, что делается на выходе; эти точки можно связать с помощью самых различных линий. Иными словами, заданные две точки не определяют однозначно соединяющую их линию. Существование многих линий, соединяющих заданные точки, свидетельствует о ненадежности рассмотренного вывода по аналогии. Вряд ли мы решимся связывать сознание с любой структурой, обуславливающей заданное поведение.

Однако приведенная геометрическая иллюстрация может указать нам и выход из затруднения. Если выделить из всего множества линий такие линии, которые обладают определенными свойствами, то в ряде случаев мы сможем однозначно их определить с помощью данных двух точек. Так, две точки однозначно определяют прямую, три точки — окружность и т. д. Быть может, жизнь, мышление, сознание представляют собой аналоги прямой или окружности в том смысле, что они обладают некоторыми свойствами, позволяющими их однозначно определить с помощью анализа входа и выхода или еще какого-либо состояния системы? Такими свойствами могли бы быть простота, надежность и т. д. В таком случае из всех возможных связей между входом и выходом с понятием мышления, например, ассоциировалась бы самая простая, самая надежная схема и т. д. Однако возникает серьезное сомнение, можно ли такие понятия, как простота и надежность, определить вне зависимости от физической природы элементов схемы. То,

---

<sup>1</sup> См. И. Б. Новик, К вопросу о единстве предмета и метода кибернетики (настоящее издание).

<sup>2</sup> Вполне возможно, что именно с такой ситуацией придется встретиться нашим потомкам во время космических полетов.

что является простым и надежным в одних физических условиях, применительно к человеку может оказаться не простым, применительно к машине — не надежным и т. п. Но быть может, удастся найти другие свойства мышления и сознания, которые позволят их однозначно определить с помощью отношения между входом и выходом системы?

Для решения проблемы, может ли машина мыслить, иметь сознание и т. д., в структурном плане, с нашей точки зрения, необходимо: проанализировать основные формы структур кибернетических систем, обеспечивающих выполнение одних и тех же функций у различных систем; среди этих структур выделить такие, которые однозначно определяются некоторыми характеристиками, в частности соотношениями между входом (входами) и выходом (выходами) системы; выяснить, далее, являются ли свойства этих структур определяющими свойствами мышления, сознания или любого другого явления, возможность наличия (или отсутствия) которого в машине мы хотим установить; выяснить технические возможности реализации этих структур в машинах.

В другом плане решение поставленной проблемы может быть связано с анализом свойств причинной связи. Считают, что одним из свойств, которым обладает причинная связь, является так называемая *множественность причин*. Смысл множественности причин состоит в том, что одно и то же явление, скажем поведение человека или машины, в различных условиях может быть обусловлено различными причинами. Однако против принципа множественности причин издавна выдвигались возражения. Уже И. Ньютон в качестве одного из основных правил научного исследования (или философствования, как он говорил) сформулировал принцип, который может быть назван принципом *единственности причины*. Ньютон писал: «Поскольку возможно, должно приписывать те же причины того же рода проявлениям природы. Так, например, дыханию людей и животных, падению камней в Европе и в Америке, свету кухонного очага и солнца, отражению света на земле и на планетах»<sup>1</sup>. Этому принципу как будто бы противоречат очевидные факты. Например, животное может погибнуть от стрелы или голода, от яда или пули. Но, как заметил М. В. Ломоносов, «здесь бессильны примеры, кои сему, по-видимому, противны быть кажется; например, что животные от сильного жару и от морозу умирают, ибо сии причины суть отдаленные и посред-

---

<sup>1</sup> И. Ньютон, Математические начала натуральной философии, кн. III, «Известия Николаевской морской академии», вып. 7, Пг., 1916, стр. 450.

ство имеющие, которые могут быть многие и между собою иногда спорные; а самая ближняя и непосредственная причина смерти есть пресечение течения и обращения крови и прочих жизненных влажностей»<sup>1</sup>. Анализируя проблему множественности причин с логической точки зрения, А. С. Ахманов, на наш взгляд, весьма убедительно показал, что множественность причин есть не что иное, как множественность носителей единственной причины какого-либо данного следствия.

С этой точки зрения, если сознание является непосредственной причиной поведения человека, вопрос о возможности возникновения сознания в машине решается просто. Если нам удастся воспроизвести в машине поведение человека, то это будет означать, что мы воспроизвели и непосредственную причину этого поведения — сознание. Множество возможных линий, соединяющих стимулы на входе системы с реакциями на ее выходе, в таком случае сводится к одной-единственной линии и вывод по аналогии приобретает достоверный характер.

Однако эта простота лишь кажущаяся. Что значит воспроизвести в машине поведение человека? Речь может идти лишь о воспроизведении какого-то конкретного, заранее заданного поведения. Где гарантии того, что машина, ведущая себя так же, как человек в определенных предусмотренных программой условиях, будет вести себя так же и во всех тех случаях, которые программой не предусмотрены?

Полнота совпадения поведения человека и машины не может быть установлена *a priori*. Для этого необходимо эмпирическое исследование, которое никогда не может быть завершено. Но с другой стороны, данное обстоятельство в свою очередь не является априорным основанием, для того чтобы отрицать возможность воспроизведения в машине сознания.

Когда говорится о причине того или иного явления, вообще говоря, не имеется в виду, что причина однозначно определяет все особенности этого явления. «Пресечение течения и обращения крови и прочих жизненных влажностей», о котором писал Ломоносов, во всех случаях вызывает смерть, но конкретный характер смерти будет зависеть от целого ряда других обстоятельств. Точно так же наличие сознания обуславливает определенные черты поведения человека (обозначим их буквами  $\alpha_1, \alpha_2, \dots, \alpha_n$ ). Всякое поведение человека, обладающее свой-

---

<sup>1</sup> М. В. Ломоносов, Рассуждения о твердости и жидкости тел, Избр. философ. произв., М., 1950, стр. 341. Несмотря на то что выраженные в приведенном отрывке физиологические представления о жизнедеятельности организма, конечно, устарели, логическая суть дела схвачена Ломоносовым совершенно правильно.

ствами  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ , может быть названо сознательным, хотя могут существовать и другие конкретные особенности этого поведения:  $\beta_1, \dots, \beta_m$ . Это ясно хотя бы из того факта, что поведение всех нормальных взрослых людей сознательно, несмотря на все многообразие конкретных форм этого поведения, в котором далеко не каждая черта свидетельствует о наличии сознания. Если бы мы могли точно определить тот комплекс особенностей поведения  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ , который непосредственно вызывается сознанием и, следовательно, не может быть вызван ничем другим, и этот комплекс оказался бы конечным, доступным для воспроизведения в машине, то поставленная проблема была бы разрешена.

Но здесь возникают большие и, как некоторые полагают, принципиально непреодолимые трудности в определении комплекса свойств  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$ . На наш взгляд, однако, эти трудности можно преодолеть. Ведь сознание — реальный факт и в качестве такового имеет реальные формы своего внешнего проявления. Тем не менее бесспорно, что в настоящее время мы еще очень далеки от точного ответа на вопрос о том, какие именно особенности поведения требуют для своего объяснения наличия сознания. Вывод по аналогии, заключающийся в том, что если человек, обладающий сознанием, имеет определенные черты поведения  $\alpha_1, \dots, \alpha_n$  и машина может иметь многие из этих черт ( $\alpha_i, \dots, \alpha_k$ ), то, следовательно, машина может иметь сознание, неправилен. Эта неправомерность обусловлена тем, что с сознанием в обоих случаях связываются разные комплексы признаков.

Возможность мышления в машине ассоциируется прежде всего с успешностью выполнения тех действий, которые у человека сопровождаются сознанием. Но является ли сознание непосредственной причиной успешности деятельности? Сознание у человека зачастую связано с колебанием между возможными решениями, иногда даже с плохим выполнением тех или иных действий (человек, отдающий отчет в своих действиях, обычно хуже выполняет их, чем человек, у которого эти действия приобрели автоматический характер) и т. д. Нужны ли все эти черты для функционирования машины? Это отнюдь не ясно. Бесспорно, что функционирование машин (во всяком случае современных) характеризуется главным образом теми чертами, которые у человека не связываются с сознанием. Когда, например, машина играет в шахматы, то в случае выигрыша ее успех в значительной мере объясняется тем, что у нее нет всех тех черт, которые у человека объясняются сознанием (боязнь проигрыша, отвлечение внимания и т. д.). Перенос свойства «иметь сознание в качестве причины дейст-

вий» с человека на автомат нарушает правила каузальной аналогии, поскольку на основе тех свойств, которые у человека обуславливаются наличием сознания, невозможно причинно объяснить функционирование машины.

Необходимо подчеркнуть, что сказанное в предыдущем абзаце относится лишь к автоматам современного типа и не затрагивает отдаленных перспектив развития техники. Не найдено достаточных оснований категорически отрицать возможность создания автоматов, функционирование которых будет основано на совершенно иных принципах. Но в любом случае то или иное решение вопроса о «мышлении» машины должно быть связано с проверкой выполнения условий правомерности вывода по аналогии.

Материалистическая философия рассматривает сознание как функцию высокоорганизованной материи. При этом под высокоорганизованной материей обычно понимается живая материя, и в частности человеческий мозг, а под жизнью — особый способ существования белковых тел. Исследование функционирования нервной системы всегда играло важную роль в естественнонаучном обосновании теории отражения.

Кибернетика, будучи наукой о количественных и структурных закономерностях процесса управления, обнаруживает эффективность — а в ряде случаев и незаменимость — своих методов при исследовании сложных динамических систем, состоящих из большого числа элементов. Живые системы, и в частности нервная система человека, представляют собой чрезвычайно сложные образования, а потому могут и должны исследоваться методами кибернетики. Такое исследование интенсивно осуществляется за последние годы.

Кибернетика исследует системы управления, заранее абстрагируясь от их вещественной природы<sup>1</sup>. Она создает с этой целью знаковые модели изучаемых объектов, а также физические модели. Эти физические модели, заменяя собой труднодоступные для изучения и трудновоспроизводимые процессы жизнедеятельности и поведения живых систем, подвергаются

---

<sup>1</sup> В последние годы в кибернетику все больше, однако, начинают входить вопросы, связанные с учетом энергетических и вещественных параметров систем управления. См. А. Берг, Н. Бернштейн, Б. Бирюков, А. Китов, А. Папалков, А. Спиркин, В. Тютин, Кибернетика, «Философская энциклопедия», т. 2, стр. 498, где отмечена более широкая, чем обычно, трактовка теоретической кибернетики, развиваемая А. Н. Колмогоровым.

всестороннему, в том числе экспериментальному, исследованию. Полученные результаты проверяются на реальных живых системах, и на этой основе делаются биологические выводы.

В кибернетике используется два главных метода моделирования функций центральной нервной системы. При первом из них с большей или меньшей степенью приближения воспроизводится структура мозга, нервной системы или отдельных ее участков. При втором воспроизводятся общий ход мыслительного или иного психического процесса, его закономерности. Это обычно делается на электронно-вычислительных машинах, материальная структура которых не воспроизводит, да и не должна для этих целей воспроизводить, структуру мозга.

Оба эти метода моделирования имеют свои слабые и сильные стороны. Подход к оценке принципиальных возможностей каждого из этих методов имеет свои особенности. В дальнейшем изложении рассматриваются принципиальные возможности первого из этих методов<sup>1</sup>.

\* \* \*

Моделирование — один из важнейших методов кибернетики, применяемый как для выявления схем переработки информации в естественных системах, так и для синтеза искусственных систем переработки информации. Возможность моделирования физиологических процессов, лежащих в основе тех или иных психических функций, есть основа (быть может, не единственно возможная) для воспроизведения с той или иной степенью приближения самих этих функций. В модели из элементов другой вещественной природы, нежели элементы моделируемой системы, но сходных с ними в определенных отношениях воспроизводится структура, пространственно-временная организация, совокупность связей моделируемой системы. Следовательно, возможности и границы моделирования неразрывно связаны с характером соотношения структура — элементы. Соотношение субстрат (элементы) — структура есть конкретизация соотношения содержание — форма. Общая основа возможности моделирования

---

<sup>1</sup> Принципиальные возможности второго метода исследуются в работах В. М. Глушкова (например, В. М. Глушков, Мышление и кибернетика, «Вопросы философии» № 1, 1963) и других авторов. См. также С. М. Шалютин, Кибернетика и умственный труд, «Ученые записки Курганского пединститута», вып. V, 1963.



заключается в относительной самостоятельности формы.

Материалистическая диалектика на основе теоретического обобщения многочисленных данных специальных наук показала, что форма предметов и процессов в общем определяется их содержанием. Вместе с тем она признает относительную самостоятельность формы в рамках общего примата содержания. Эта самостоятельность имеет ряд проявлений.

Во-первых, одно и то же содержание (или существенно не различающиеся содержания) может в зависимости от ряда факторов воплощаться в различные формы. Следовательно, содержание определяет форму не однозначно. Имеет место, так сказать, полиморфизм.

Во-вторых, изменение формы, представляя собой перестройку связей внутри предмета, есть процесс, развертывающийся во времени, и поэтому оно «запаздывает» («отстает») по отношению к изменению содержания.

В-третьих, различные содержания при определенных условиях могут воплощаться в одинаковые (с достаточно абстрактной точки зрения) формы. Системы, состоящие из субстратно различных элементов, могут быть изоморфными (или гомоморфными) одна другой. Именно этот последний момент имеет огромное значение для кибернетики.

Кибернетика исследует поведение, функции систем определенной структуры, абстрагируясь от материального субстрата, и в этом смысле соотношение субстрат — структура остается за пределами конкретного кибернетического анализа<sup>1</sup>. Однако именно анализ этого соотношения существенно важен при выявлении исходных пунктов самой кибернетики. Как раз изоморфизм систем из вещественно различных элементов создает возможность исследовать процессы, происходящие в некоторой сложной системе, на ее изоморфной (или, чаще, гомоморфной) модели.

В моделировании функций живого за последние годы имеются значительные успехи. Наблюдается тенденция создания моделей, все более адекватно отражающих определенные живые системы: модели имитируют отдельные функции и системы функций живых организмов и их объединений. Но возможна ли модель, настолько полно воспроизводящая живые системы, что она сама может быть отнесена к живым системам, т. е. возможна ли модель, которая отличается от исторически сложившихся на Земле живых су-

---

<sup>1</sup> Принимая во внимание замечания о возможностях более широкой трактовки теоретической кибернетики, см. сноску на стр. 347.

ществ не более, чем эти живые существа отличаются друг от друга?

Разумеется, ответ на этот вопрос должен опираться на определенное понимание жизни. Классическое определение жизни, данное Ф. Энгельсом, включает в себя как характеристику субстрата (белок), так и основных функций живого. В настоящее время, особенно в связи с развитием кибернетических методов исследования жизни, появилась тенденция к функциональному определению жизни без характеристики материального субстрата (А. Н. Колмогоров, А. А. Ляпунов).

Если под жизнью заранее понимать особую форму существования белковых тел, то на поставленный выше вопрос можно дать лишь отрицательный ответ: модель сконструирована из другого субстрата, она не белок и, следовательно, неживая. Если же жизнь рассматривать как некоторую систему функций, то естественно возникает вопрос о том, можно ли ее воспроизвести с помощью кибернетических моделей, построенных из другого, нежели живые организмы, субстрата<sup>1</sup>.

Ряд философов и специалистов в области кибернетики утверждают, что материализм из принципиальных соображений должен признавать возможность живых кибернетических моделей и всякое сомнение в такой возможности есть агностицизм или витализм. Все, что нами познано, т. е. любой объект, законы функционирования которого нам известны, утверждают сторонники этого взгляда, мы в принципе можем воспроизвести. Следовательно, тот, кто отрицает возможность «живых» моделей, утверждает по сути дела невозможность познания живого. Если учесть, что все материальное познаваемо, то отрицание возможности «живых» моделей равносильно отрицанию материальности жизни, равносильно витализму.

На самом деле это рассуждение основано на подмене обсуждаемого вопроса другим вопросом. Споры о возможности создания живых кибернетических моделей<sup>2</sup> не тождественны

---

<sup>1</sup> Этот вопрос сохранит силу и при «субстратном» понимании жизни. Однако в этом случае модель, воспроизводящая функции живого, не признается живой.

<sup>2</sup> Именно моделей, а не живых кибернетических систем, ибо в том, что живые кибернетические системы вообще существуют, т. е. что живые организмы наряду с определенными техническими системами входят в более широкий класс кибернетических систем, никто из тех, кто по-настоящему признает научное значение кибернетики, не сомневается; в противном случае живые организмы не могли бы служить предметом исследования средствами кибернетики.

по содержанию спорам о возможности создания искусственных живых систем.

Марксизм давно считает непреложной истиной возможность создания живого из неживого. Отрицание такой возможности действительно есть виталистический отрыв высших форм движения материи от низших. Открытия кибернетики ни в какой степени не изменили этой постановки вопроса в самом общем его виде. Они лишь внесли много нового в отыскание путей его решения. С одной стороны, стало ясно, что задача гораздо сложнее, чем представлялось ранее: ее решение лежит на пути не просто создания некоторого субстрата, но и воспитания этого субстрата посредством внесения в него определенной информации. С другой стороны, исследуя информационные процессы, кибернетика дала новые методы и средства, приближающие решение этой задачи.

Однако спор между противниками и сторонниками возможности «живых» моделей заключается не в том, возможна ли искусственная жизнь. Речь по сути дела идет о возможности создания жизни некоторыми ограниченными средствами; при этом налагаемые ограничения, как правило, не формулируются в явной форме<sup>1</sup>.

Попытаемся, однако, разобраться в характере этих ограничений.

Иногда ставится задача создания живого (т. е. системы функций живого) без использования природных или искусственных белков и нуклеиновых кислот. Речь идет о создании системы, функционально тождественной живому, на любом субстрате, отличном от субстрата жизни, существующей или господствующей на Земле<sup>2</sup>. При этом могут быть использованы искусственные полимеры и вообще разнообразные возможности, заложенные в химической форме движения.

В других случаях ставится иная задача: создать живое (систему функций живого) без использования не только нуклеиновых кислот, но и ряда других или даже всех химических процессов. Использовать разрешается лишь разнообразные механические и физические (в узком смысле этого слова) процессы. В этом случае речь идет об искусственном воспроиз-

---

<sup>1</sup> Если при рассмотрении вопроса об искусственном синтезе жизни не накладывается никаких ограничений на используемые при этом средства, то отпадает всякий повод для спора. Искусственное создание жизни возможно.

<sup>2</sup> Это проблема небелковых, например кремниевых, форм жизни; она оживленно обсуждается в связи с вопросом о возможности существования небелковых живых форм в космосе. См. *И. С. Шкловский, Вселенная, жизнь, разум*, ч. 2.

ведении биологических процессов прямо из физической формы движения, минуя химическую. Эти последние ограничения соответствуют обыденному, житейскому представлению о машине, и именно с ними связана наибольшая оппозиция допущению «живых» машин.

При достаточно абстрактном подходе указанные ограничения не отличаются принципиально одно от другого. В обоих случаях ставится вопрос о возможности воспроизведения функций («поведения») некоторого объекта в системе, построенной из другого субстрата.

Как отмечалось выше, в основе моделирования лежит использование относительной самостоятельности формы. Вообще говоря, соотношение субстрат — структура — условия (внешние и внутренние, отражающиеся в информации, которая хранится в системе) — функции (поведение) подлежит исследованию в качестве важнейшей основы моделирования. Уже анализ первой части этого соотношения (субстрат — структура) показывает, что не исключено наличие биологических процессов и систем процессов, которые не могут быть моделированы в физико-механических системах. Возможность таких процессов вытекает из следующих соображений.

Самостоятельность структуры по отношению к элементам не абсолютна, а относительна. Человек может искусственно придать определенной совокупности элементов форму, маловероятную в естественных условиях. Однако он не может придать этой совокупности произвольную форму: сама качественная природа элементов совокупности ставит этому определенные границы. Совсем не исключено, что свойства живого вещества позволяют ему осуществлять структуры, которые невозможны для небιологических систем.

Далее, само тождество структур, с которыми имеет дело кибернетика, также относительно. Это — тождество до определенного уровня. В кибернетике нейроны мозга обычно сопоставляются с реле в технике. Однако в накоплении и переработке информации в мозгу и в других биологических системах могут принимать участие и субмолекулярные, и даже субатомные структуры. Биологический обмен веществ является существенным фактором переработки информации в живом организме.

Не исключено, наконец, что, уменьшая различие между машиной и мозгом по одним функциям, мы вместе с тем будем увеличивать различие между ними по другим функциям, т. е. по мере усложнения машин мы все в большей мере будем

сталкиваться с тем, что моделирование одних функций будет мешать моделированию других функций<sup>1</sup>.

История науки и техники показывает, что моделирование (в самом широком смысле этого слова) неоднократно наталкивалось на границы, обуславливаемые различием материальных субстратов модели и моделируемой системы. Подавляющее большинство физиков, например, признает невозможность механической (классической) и вообще макроскопической модели микропроцессов, что связано главным образом с двойственной, корпускулярно-волновой природой микрообъектов.

Качественное своеобразие различных форм движения материи заключается не только в наличии у каждой из них специфических закономерностей. Качественно своеобразны также и соотношения, переходы от одной формы движения к другой. Можно ли моделировать закономерности некоторой формы движения материальным субстратом, для которого специфична другая форма движения? На этот вопрос нельзя ответить *a priori*: требуется детальное его исследование.

Современным биологическим и физико-химическим знаниям не противоречит положение о возможности создания моделей из небιологических компонентов и даже без участия химических процессов, функционально тождественных живым объектам. Однако этим знаниям не противоречит и противоположное утверждение о невозможности создания такой модели.

Описание жизни, даваемое современной наукой, весьма неполно. Тем более оно неполно в математическом смысле. Теория жизни построена не аксиоматически. Совместимость отдельных функций жизни доказана эмпирически, фактом существования жизни. Не исследована независимость отдельных функций друг от друга, и различные интерпретации (реализации на различных субстратах) не обязаны быть изоморфными между собой. Не исключено, например, что чисто «физический» субстрат может иметь такие свойства (вытекающие, например, из отсутствия в нем химических процессов определенного вида), которые несовместимы с рядом функций живого, в силу чего такой субстрат ни при какой структуре не может быть функционально тождествен живому.

Иными словами, пока закономерности живого еще слишком слабо изучены, нельзя быть уверенным, что среди них не найдутся такие, которые могут препятствовать созданию «физической» модели живого. Всякий открытый наукой закон не

---

<sup>1</sup> Об этом см. Э. Ровенский, А. Уемов, Е. Уемова, *Машина и мысль*, стр. 138.

только указывает, какими путями следует идти практике, но и каких путей ей следует избегать. Люди не могут нарушать законы природы. Закон сохранения энергии делает невозможным вечный двигатель. Это значит, что существование объекта, носящего в физике название вечного двигателя, несовместимо с системой ее законов. Не исключено, что «физическая» функциональная модель живого, воспроизводящая всю систему функций живого, несовместима с законами биологии. В таком случае отказ от попыток создания такого объекта не есть агностицизм, а утверждение о невозможности его создания не есть витализм.

Однако надо подчеркнуть, что такая постановка вопроса ни в коей мере не дает возможности утверждать в категорической форме невозможность «физической» модели живого, тем более невозможность осуществления физико-механических моделей тех или иных функций живого.

На первый взгляд само допущение возможности адекватной, изоморфной живому «физической» модели выглядит уступкой механицизму: биологическая форма движения выше, сложнее, чем физическая. Она содержит в себе в «снятом» виде физические и химические формы движения и, следовательно, представляет собой систему отношений, значительно более богатую, чем система лишь физических процессов.

Последнее, разумеется, верно. Однако выход за пределы чисто физических процессов (физических форм движения) возможен не только через химию и биологию. Повышение уровня организации материи, выход за пределы физических закономерностей (например, к кибернетическим) абстрактно возможен различными путями: известная нам линия прогресса не может считаться единственно возможной. В частности, такой выход осуществляется в создаваемых человеком технических системах. При всем богатстве возможностей, которые создаются химической формой движения, являющейся основой естественно возникшей на Земле жизни, нет категорических оснований утверждать, что иные выходы за пределы физики беднее. Следовательно, утверждение возможности «физической» модели живого<sup>1</sup> вовсе не есть сведение высшей формы движения — биологической — к низшим, физическим. Речь идет об искусственном создании нехимическим путем такой организации материи, которая бы по уровню, т. е. по богатству внутренних связей и отношений, была не ниже биологической,

---

<sup>1</sup> Напомним еще раз, что речь здесь идет о моделях, в которых могут быть использованы любые возможные варианты, субстраты и структуры, кроме биологических (в обычном смысле) компонентов и химических процессов.

о моделировании на системах такого уровня совокупности биологических связей.

Абстрактно не исключены отношения изоморфизма между высокими формами организации материи (соответственно формами движения), складывающимися на различных ветвях ее поступательного развития. Конечно, изоморфизм такого рода не означает тождества; речь идет только о сходстве формальных структур, однако для моделирования этого достаточно. Следовательно, не исключено моделирование одной формы движения на субстрате, для которого характерна другая форма движения. При этом при принятых допущениях никакого сведения вышнего к низшему не получается.

В то же время возможность изоморфизма между биологическими системами и их определенными «физическими» моделями вовсе не означает его обязательности. Не исключено, что рассмотренный выше уровень организации материи не содержит моделей живого не потому, что там слишком мало связей, а потому, что эти связи иные, и притом не только с качественной, содержательной, но и с формальной стороны.

Проявления жизни крайне многообразны. Животные, растения и микроорганизмы весьма существенно отличаются друг от друга. Очевидно, что если «физическая» модель живого изоморфно отобразит те свойства и отношения, которые общи этим различным классам живых организмов, то она уже оправдывает свое название.

Чтобы выяснить, поддается ли кибернетическому моделированию в физических системах совокупность функций, которую мы обозначаем термином *живое*, надо много потрудиться. Эта работа должна идти и по линии попыток моделирования, отвлекающихся в принципе от субстрата (кибернетика), и по линии выяснения особенностей живого, связанных с субстратом (биохимия).

Неисследованность независимости друг от друга основных сторон живого создает возможность замены некоторых из них их «отрицанием» (например, не исключено, что наличие химических процессов может быть заменимо их отсутствием) при сохранении неизменности остальных сторон живого. Но такая замена может и вступить в конфликт с другими сторонами живого. Все это подлежит эмпирическому и теоретическому исследованию.

Исследования проблемы синтеза систем, моделирующих любые функции и системы функций живого, не только не тормозят развитие науки, а толкают ее вперед. Взятые сами по себе, они не содержат ничего механистического. Эти исследо-

вания способствуют выявлению типа качественной грани между живым и неживым, например выяснению того, носит ли эта грань характер границы между микромиром и макромиром, которая не позволяет создавать макромоделли микропроцессов, или же эта грань представляет собой рубеж, отграничивающий классическую механику от термодинамики, который, несмотря на качественное своеобразие процессов, описываемых в классической механике и термодинамике, не исключает моделирования одних процессов с помощью других.

Подчеркнем, что бесконечное множество субстратов и структур, реально и потенциально содержащихся в бесконечной материальной Вселенной, в принципе богаче возможностями организации, чем белки и нуклеиновые кислоты, представляющие собой основу спонтанно возникшей на Земле жизни. Из этого можно сделать вывод, что возможны такие средства, используя которые можно будет не только воспроизвести уровень организации, присущий живым организмам на Земле, но и достигнуть более высокого уровня организации. А с этим уровнем могут оказаться связанными более сложные, чем известные ныне, процессы самоуправления, самосохранения и развития в более широком диапазоне резко меняющихся условий.

Но даже такие широкие допущения не делают неизбежным вывод о возможности создания физико-механической модели живого, воспроизводящей совокупность функций живого, живых организмов и систем их жизнедеятельности. Ответ на поставленный выше вопрос может быть дан лишь в процессе дальнейшего развития науки и техники.

\* \* \*

Наряду с проблемой «живых» моделей в настоящее время оживленно обсуждается вопрос о возможности создания машин, которые обладали бы сознанием. Сторонники возможности создания таких систем в сущности выдвигают два главных аргумента.

Функции сознания, говорят они, — это функции переработки информации. Возможности решения различных задач переработки информации определяются логической схемой системы, перерабатывающей информацию. В принципе можно воспроизвести схемы переработки информации, функционирующие в мозгу, можно создать вполне адекватную модель мозга. А поскольку сознание есть функция мозга, постольку возможна техническая система, обладающая сознанием. Таков первый аргумент.



Суть второго аргумента сводится к следующему. Вычислительные и информационно-логические машины способны решать все более сложные задачи, которые до сих пор решал лишь человек. В процессе развития техники эти машины смогут решать любые задачи, которые потребуются людям, человеческому интеллекту, если, конечно, человек сочтет целесообразным передать их машине. А это будет означать, что машины будут обладать интеллектом, станут разумными, сознательными.

На самом же деле ни одно из этих положений, так же как и оба они в своей совокупности, не может служить достаточным аргументом в пользу возможности создания машин, обладающих сознанием.

В связи с первым из приведенных аргументов заметим, что, как было нами показано выше, возможность реализации произвольной пространственно-временной структуры на заранее фиксированном субстрате теоретически остается проблематичной.

Что касается второго из критикуемых аргументов, то по поводу него можно сказать следующее. Нет сомнения в том, что создаваемые техникой системы управления будут решать все более сложные задачи переработки информации и соответственно задачи управления все более сложными процессами. Однако сложность решаемой задачи сама по себе не может служить доказательством наличия сознания у системы, которая эту задачу решает. Иногда говорят, что последнее утверждение превращает сознание в нечто мистическое и неуловимое. Внутренние различия (в данном случае наличие или отсутствие сознания) обязательно должны иметь внешние проявления. Это, конечно, так. Однако не доказано, что таким отличием, на основе которого только и можно было бы судить о наличии сознания, является абстрактная возможность решения некоторой сложной задачи переработки информации. Прежде всего не исключено (хотя ничем не доказано и подлежит исследованию), что возникновение сознания обусловлено не структурой и функцией (или не только структурой и функцией), а также и субстратом, т. е. что биологическая природа субстрата является одним из необходимых условий возникновения сознания у сложных систем. Но даже если отвлечься от этого варианта, то можно сказать следующее: внешние различия между такими информационными системами, которые обладают сознанием, и такими, которые им не обладают, могут заключаться не в том, что классы решаемых ими задач не совпадают, а в методах, требующих, например, различного времени решения, и в других признаках.

К тому же известны многочисленные случаи осуществления сложных функций управления, а следовательно, и переработки информации, в которых сознание бесспорно не участвует. К их числу относятся, например, инстинктивные формы поведения в животном мире, функционирование многочисленных систем управления организмом человека в наркотическом состоянии. Известно, что многие сложнейшие физиологические процессы в нормальном организме человека и животных формируются на основе условных рефлексов и не попадают в сферу сознания. Для описания этих процессов на научном языке, т. е. для их осознания, во многих случаях требуются весьма сложные средства, в частности математические, т. е. необходим сложный научный аппарат.

В природе, однако, эти процессы происходят без участия сознания. На самом деле некоторые из тех, кто утверждают возможность создания машин, обладающих сознанием, поддаются идеалистической иллюзии, что целесообразность немыслима без разума. Несостоятельность этой иллюзии была доказана еще Дарвином.

Один из важнейших аспектов философского значения кибернетики заключается в раскрытии ею материальных механизмов объективно целесообразного поведения. Для объяснения функционирования целенаправленных систем во многих случаях оказывается достаточно идеи обратной связи. В более сложных случаях приходят на помощь разнообразные схемы самонастраивающихся и самоуправляющихся систем. Важнейший вывод из рассмотрения функционирования таких систем как раз и состоит в том, что наличие сознания не есть обязательная предпосылка целесообразности. Следовательно, аргументы в пользу наличия сознания у машин, исходящие из целесообразности их поведения, противоречат основному духу кибернетики.

Итак, сложность решаемой задачи сама по себе еще не есть доказательство наличия сознания у системы, которая эту задачу решает.

\* \* \*

При решении вопроса о возможности создания технических кибернетических систем, обладающих сознанием, следует учитывать положение марксизма о сознании как об осознанном бытии, об образах, возникающих в сознании, как о субъективных образах объективного мира. Ленин, борясь против махизма, подчеркивал эту черту отражения. Сейчас, когда приходится сталкиваться с растворением сознания в атрибуте

отражения, необходимо подчеркнуть<sup>1</sup>, что эти образы суть субъективные образы объективного мира.

Сложные процессы управления невозможны без отражения в управляющей системе определенных условий. Получение информации о состоянии объекта, среды и т. д. и дальнейшая переработка этой информации в технической системе есть отражение этой системой определенных объектов.

Кибернетика с определенной стороны может быть охарактеризована как наука о количественных и структурных закономерностях процесса отражения. В кибернетике отражение как атрибут материи впервые подверглось естественнонаучному и математическому исследованию. В этом заключается один из важнейших моментов ее значения для марксистской теории познания.

Сознание есть отражение действительности. Однако не всякое отражение есть сознание. Сознание есть отражение объекта субъектом. Где нет субъекта, там нет и сознания. И если машина не является субъектом, то она, какие бы сложные отражательные задачи ни решала, не обладает сознанием.

Конечно, закономерности исторического становления субъекта, сознания и самосознания еще не раскрыты в полной мере. Одна из принципиальных трудностей в исследовании этих явлений заключается в том, что нам известен лишь один класс объектов, обладающих сознанием, — люди.

В процессе формирования сознания человека наряду с общими закономерностями, имеющими силу для всех случаев возникновения разумных существ, например в космосе, несомненно, имели место и некоторые специфические особенности, присущие антропогенезу на Земле. Пока в распоряжении исследователей имеются лишь единичные случаи какого-либо процесса, выявление его закономерностей связано с исключительно большими трудностями и по необходимости не может быть точным. Положение в данном случае усугубляется тем, что процесс антропогенеза не был и не мог быть наблюдаем.

Тем не менее наука располагает теорией происхождения человека, его сознания. Это — марксистская теория, согласно которой в основе формирования сознания лежит труд. Объективная противоположность человека как преобразующей силы и природы как преобразуемого объекта отражается в пси-

---

<sup>1</sup> См. *С. М. Шалютин*, О кибернетике и сфере ее применения, «Философские вопросы кибернетики».

хике человека как противоположность *Я* и не-*Я*. При этом под человеком мы понимаем здесь не отдельного индивида, а общественного человека, людей, практически преобразующих природу и вступающих в определенные отношения друг с другом.

В процессе производства именно от человека исходит целесообразная деятельность.

Даже самая высокоразвитая, созданная человеком кибернетическая система остается в роли средства труда, усиливающего физическую и интеллектуальную мощь человека. Поскольку не от нее в конечном счете исходит целесообразная деятельность, она не противостоит природе, как преобразующая преобразуемому. Она независимо от человека не вступает в отношения с другими машинами; иначе говоря, не существует общества машин, и именно поэтому не существует «машинного» сознания.

Если имеется высокоорганизованная материальная система (не обязательно по субстрату тождественная жизни в той форме, как она сложилась на Земле), то тем самым дана абстрактная возможность сознания. Как отмечалось выше, функционирование системы, ее поведение определяется не только ее внутренней структурой, которая лишь относительно независима от субстрата, но и условиями, в которых система находится. Об этих условиях система получает информацию в процессе взаимодействия с ними. Эта непрерывно поступающая информация совместно со структурой определяет функции системы. Это значит, что реализация возможности появления сознания, имеющейся в некоторой высокоорганизованной системе, существенно зависит от поступающей в систему информации, т. е. от условий ее функционирования. Ребенок, воспитанный с младенческого возраста волчицей, как об этом свидетельствуют описания, не обретает человеческого интеллекта.

Мы полагаем, что информация, которая может быть внесена в техническую систему, обслуживающую человека, собрана и обработана ею, никогда не может быть вполне тождественной информации, находящейся в сознании человека. В частности, информация, хранимая и преобразуемая в технических кибернетических системах, не может содержать в качестве адекватно отображающего объект утверждения: «Я преобразую мир в соответствии со своими целями», так как в действительности техническим системам цели задаются отличными от них системами — разумными существами, возникшими в процессе биологической и социальной эволюции из неразумных.

Информация, которая необходима для возникновения сознания, — это, по-видимому, вся совокупность знаний, получаемых данной системой в процессе преобразования природы в своих интересах. Если бы кибернетические системы образовали общество, т. е. создавали средства труда, с помощью которых стали бы осуществлять преобразование природы в своих интересах, они обладали бы и сознанием. Конечно, само общество понимается здесь функционально. Мы считаем «космическим провинциализмом» требование обязательного сходства членов общества с людьми в каком бы то ни было отношении, кроме высокого уровня организации (сама же конкретная организация может быть совершенно иной), позволяющего осуществлять тонкое саморегулирование на основе сбора информации.

Если такие высокоорганизованные системы, вступая в отношения друг с другом и с внешней средой, создают средства труда, которыми преобразуют природу в своих интересах, то они — независимо от своего субстрата — образуют общество и, следовательно, обладают сознанием. Если этого признака нет, то нет и сознания.

Подчеркнем в заключение, что отсутствие сознания у некоторой системы не обязательно означает, что она не способна решать задачи переработки информации, которые человек решает с участием сознания. Нам кажется, что на современном этапе развития физиологии и психологии еще не выяснено, какие именно задачи переработки информации могут решаться только с участием сознания, и даже не доказано, что такие задачи существуют.

Системы, перерабатывающие информацию, независимо от наличия или отсутствия у них сознания, моделируя механизмы мозга или осуществляя другие логические схемы, могут решать задачи, недоступные не вооруженному техникой человеческому интеллекту, благодаря большей точности, громадной скорости переработки информации и т. п.

Преимущества эти обусловлены тем, что в реальном человеке с его мозгом реализованы лишь некоторые психофизиологические возможности, заложенные в развитии свойства отражения, присущего всей материи, в то время как перспективы развития этого свойства (субстратов, структур и условий функционирования систем отражения), вообще говоря, бесконечны. Среди этих преимуществ особо следует отметить возможность более совершенной логики.

Человеческая логика есть отражение объективных отношений, полученное в процессе практической деятельности; отсюда следует возможность развития, совершенствования этой

логики. Больше того, перерабатывающие информацию системы, отличные от человека, могут иметь более совершенную логику. Это создает возможность получать из имеющейся информации такие выводы, которых человек на данном этапе своего развития получить непосредственно не может.

Такой вывод нисколько не принижает человека. Безграничность познавательных возможностей человека заключается не в его безграничных психофизиологических возможностях — они, как и логика, в каждый исторический период ограничены, — а в совершенствовании технических средств роста его интеллектуального могущества.

# **4**

## **Кибернетика и вопросы логики и методологии научного исследования**

Кибернетика обогатила подход науки ко многим вопросам об окружающем нас мире, поощрила исследование таких проблем, которые ранее не представлялись подлежащими разработке из-за отсутствия соответствующего математического аппарата и основополагающих научных идей.

Сейчас, когда успехи таких наук, как физика, химия, биохимия, биофизика, общая биология, психология, физиология, медицина и другие, стали стремительно нарастать, приобретают большую важность задачи осмысления общих путей поисков нового в науке, установления конкретных критериев истинности познанного на различных этапах исследования, разработки языков науки, на которых формулируются и с помощью которых интерпретируются научные результаты.

Широко известны бурные успехи электронной вычислительной техники. Благодаря им возможности вычислительной математики гигантски возросли. Методы современной вычислительной математики существенно дополнили арсенал средств исследования новых явлений и процессов природы. В этих условиях важное значение приобрела методологическая проблема выяснения того соотношения, в котором находятся обычные средства аналитического (символического, математического, дедуктивно-логического) и экспериментально-образного мышления ученого.

Необходимо выяснить, каковы основные методы научного мышления, в чем состоят особенности применяемых в науке средств отражения объективного мира, позволяющих столь эффективно познавать его.

Одним из основных методов исследования в современном естествознании является процесс составления и постепенного совершенствования моделей изучаемых объектов.



Модели эти постепенно совершенствуются и уточняются на основании экспериментальных данных и практической проверки, на основе логико-математического анализа получаемых с их помощью результатов. В настоящей статье на материале главным образом из области физических наук рассматриваются некоторые вопросы, относящиеся к сущности и значению моделей в науке, к способам проверки адекватности моделей, к отображаемому с их помощью содержанию; при этом применяются концепции кибернетики. Что касается использования материала современной физики, то оно в данном случае весьма оправдано, потому что физика раньше других естественных наук прошла долгий путь по созданию моделей изучаемых в ней явлений и процессов природы.

В начале 30-х годов и позднее было много споров вокруг того факта, что теоретическая физика все более и более отказывалась от модельных представлений, точнее говоря, от так называемых наглядных моделей. При этом в ходе дискуссий некоторые их участники пытались навязать представление о том, что отказ от наглядных моделей есть будто бы явление временное и что в будущем должна появиться некая «настоящая» теоретическая физика, которая вернется к наглядным представлениям, станет более модельной, более качественной и более доступной для картинного и образного описания явлений природы, нежели физические теории, утвердившиеся в науке со времени появления теории относительности и квантовой механики. Этот тезис часто оказывался связанным с взглядом, будто наличие в физической теории математических уравнений, широкое использование языка формул уводит от модельного описания объекта, лишает объект чуть ли не всяких признаков материальности, поскольку последний перестает восприниматься в форме наглядного образа. На этом основании некоторые философы и представители старых школ в физической науке стали обвинять сторонников новых физических теорий в идеализме.

С тех пор прошло много времени. Тенденция точных наук к использованию математического аппарата не только не уменьшилась, но, наоборот, резко усилилась. Успехи естественных наук, пользующихся физико-математическими методами во всех областях практических приложений, необычайно возросли. Теперь все понимают, что большинством своих достижений физико-математическое естествознание обязано широкому и многостороннему использованию математического аппарата. Отсюда возникает дилемма: либо в представлениях тех, кто ратовал за «наглядность», «модельность» и т. п., была изрядная путаница, либо все, что достигнуто наукой, «незаконно», «не

имеет права на существование» и еще предстоит создать «настоящую» науку, науку, которая не будет в столь сильной мере использовать математическую символику, а будет создавать прежде всего наглядные, в чувственной форме воспринимаемые образы, могущие быть овеществленными в виде действующих моделей. Чтобы решить эту дилемму, подлежит исследовать целый круг проблем: выяснить, что собой представляют так называемые наглядные модели в науке; остановиться на применении математической символики представителями разных научных дисциплин; охарактеризовать основные черты процесса построения и использования моделей науки; осветить роль практики в этом процессе и т. д.

Предваряя дальнейшее изложение, можно сказать следующее: явная или неявная борьба против использования математического аппарата в таких науках, как биология, медицина, психология, экономика и другие, есть борьба за лишение науки ее важнейшего средства познания. Укрепление подобных взглядов в научной среде пагубно отразилось бы на формах организации и самом прогрессе науки. Непонимание роли математики в современной науке, недооценка метода построения моделей в самых различных областях знания наносят немалый вред как отдельным наукам, еще не приобретшим в отличие, например, от физики прочной математической базы, так и материалистической философии.

Мы говорили выше, что, рассматривая вопрос о моделях как средстве познания, мы опираемся на опыт наук физического цикла. Это не означает, что наши выводы касаются только этих наук. Дело в том, что выводы, полученные на материале физики, приобретают в свете достижений кибернетики большое значение для понимания логики развития всего современного естествознания.

## 1. Модели физики

Термин *модель* нередко понимается в смысле «наглядной модели» или же в смысле овеществленного «слепок» с некоторого объекта. Такая терминология не позволяет четко выявить гносеологическое содержание понятия модели, что зачастую приводит к путанице в оценке «модельности» или «немодельности» тех или иных научных представлений.

Имеется, однако, другой, более глубокий источник путаницы этого рода. Этим источником является ошибочный взгляд, будто познание объекта невозможно, если мы не рас-

полагаем соответствующей ему наглядной моделью. В основе этого взгляда лежит (обычно явно не высказываемое) представление о том, что наглядность модели означает (по крайней мере потенциальную) возможность осуществления модели объекта в овеществленной форме — в форме действующей модели, построенной из некоторых веществ, от которых, правда, не требуется совпадения с веществом объекта. При этом «наилучшей» считается такая модель, которая способна механически воспроизводить особенности объекта.

Дело, однако, этим не ограничивается. К описанным представлениям о наглядности добавляются соображения о необходимой степени ощущаемости, физической осязаемости уже не модели, а самого реального объекта. И когда все эти требования не удовлетворяются, когда никакие «наглядные модели» не позволяют отобразить особенности объекта, возникает недоверие к иным (абстрактным, теоретическим, математическим) формам представления рассматриваемого объекта.

Тенденция построения наглядных моделей для физических теорий господствовала в науке вплоть до конца XIX в.<sup>1</sup> Так, Дж. Максвелл, создавая первую после механики (и теории тяготения) замкнутую физическую теорию — теорию электромагнетизма, пытался строить ее на основе некоторой модели, в качестве которой рассматривались пчелиные соты с деформируемыми стенками, заполненные идеальной жидкостью. Это пример того — далеко не редкого — случая, когда ученый, использовавший эвристическую модель для построения достаточно развитой теории, продолжает связывать ее с этой моделью и тогда, когда его теория давно переросла первоначальную модель. Вообще небезынтересно отметить, что ученые, построившие первые «ненаглядные» в модельном отношении теории (теория электромагнитного поля Фарадея — Максвелла, теория теплового излучения Планка, гипотеза так называемой волны-пилота Луи де Бройля), прилагали большие усилия к построению ненужных, а часто и попросту невозможных для их теорий наглядных моделей. Напомним в этой связи о длившейся несколько десятилетий борьбе Л. Больцмана против крупнейших авторитетов теоретической физики того времени, которые отвергали молекулярно-кинетическую теорию на том основании, что атомы не наглядны, не представимы, не ощущаемы. История науки зло посмеялась над противниками взглядов немецкого ученого. Воззрения Больцмана оказались в конце кон-

---

<sup>1</sup> Пожалуй, единственным исключением в этом отношении была теория тяготения Ньютона, носившая абстрактно-математический характер, и связанный с ней принцип дальнего действия, не допускавший наглядного модельного представления.

цов намного более наглядными (и модельными), чем те, которые во имя принципа механической наглядности выдвигались против его теории.

Интересно, что вопрос о наглядности моделей возник не только в физике. В математике эта проблема встала еще около 2500 лет назад. Так, древнегреческие математики и философы, начиная с пифагорейцев, выступали против введения в математику иррациональных (а иногда и дробных) чисел, апеллируя именно к принципу наглядности. Подобные воззрения и заставили греков откинуть алгебру как науку, что и послужило одной из причин отставания аналитических методов математики вплоть до эпохи Возрождения<sup>1</sup>. Позднее, уже в XVIII в., недоверие математиков вызывали комплексные числа. Это недоверие было отброшено лишь после того, как в начале XIX в. было найдено их наглядное геометрическое истолкование (в работах Аргана, К. Ф. Гаусса и К. Весселя).

В XX в. наплыв экспериментальных фактов и появление новейших физических теорий заставили ученых заняться пересмотром традиционных взглядов на так называемую наглядность, и в первую очередь в физике. Общеизвестно, что процесс отрицания наглядности как обязательного атрибута научной теории не обошелся без тенденций фетишизации математических представлений, без выступлений против модельности вообще. Теперь, когда ситуация в значительной мере прояснилась, полезно подвести итоги имевшим место дискуссиям и внести ясность в вопрос о роли моделей в физике и в науке вообще.

Из современных моделей науки наиболее интересны, пожалуй, модели, созданные в области теории полей и элементарных частиц<sup>2</sup>. Современные модели физики элементарных частиц и сопоставленных им полей обладают следующими характерными чертами:

1. Каждому виду поля (соответственно частиц) сопоставляется свое специфическое, индивидуализированное уравнение для операторов поля, соответствующих данному квантованному полю.

2. Трансформационные свойства полей, выраженные в математической форме, отражают наиболее существенные характеристики физических полей и сопоставленных им квантов полей — элементарных частиц.

---

<sup>1</sup> См. *Б. Л. ван дер Варден*, Пробуждающаяся наука, М., 1959.

<sup>2</sup> См., например, *Н. Н. Боголюбов и Д. В. Ширков*, Введение в теорию квантованных полей, М., 1957; *Х. Умэдзава*, Квантовая теория поля, М., 1958; *П. Мегьюс*, Релятивистская квантовая теория взаимодействий элементарных частиц, М., 1959.

3. Комплексу трансформационных свойств уравнения поля можно одно-однозначно сопоставить свойства описываемого физического поля. Эта особенность связана с теоремой Э. Нетер<sup>1</sup>. Смысл этой теоремы можно кратко сформулировать так: инвариантность уравнения поля относительно каких-либо допустимых трансформаций связана с сохранением соответствующих параметров, физических характеристик квантовых полей.

4. Если мы экспериментальным путем изучим какую-либо частицу, проследим за ее взаимодействиями и превращениями, то, если мы знаем ее измеримые характеристики, имеется принципиальная возможность построения соответствующего уравнения поля. Заметим, что пока программа построения теории движения и взаимодействия частиц осуществлена лишь для частиц, участвующих лишь в электромагнитных<sup>2</sup> и так называемых слабых взаимодействиях<sup>3</sup>. Эти уравнения поля будут описывать все свойства данной частицы как в свободном, так и в связанном состоянии. Уравнение соответствующего поля позволяет, следуя заранее известной процедуре, применяя определенную схему, до конца извлечь сведения об объекте, хранящиеся в сокращенной форме в уравнении поля. Таково, например, известное уравнение П. Дирака для электрона

$$\left\{ \gamma_{\mu} \left( \frac{d}{dx_{\mu}} - i \frac{e}{c} A_{\mu} \right) - m \right\} \psi = 0.$$

Это уравнение уже более 30 лет является предметом анализа. С его помощью получены важные результаты, относящиеся к расчетам поведения электрона при его взаимодействиях с электромагнитным полем, вакуумом, внешними электромагнитными полями, внешними мезонами, нуклонными и другими полями. История открытия особых свойств электронно-позитронного поля, процессов аннигиляции, сдвига уровней атомных электронов, аномального магнитного момента, несохранения четности в слабых взаимодействиях и многих других явлений тесно связана с анализом и обобщениями уравнения Дирака, с дополнениями и исправлениями всей основанной на этом уравнении квантовой электродинамики, осуществлявшимися путем логического и математического анализа этого урав-

<sup>1</sup> См. *Н. Н. Боголюбов и Д. В. Ширков*, Введение в теорию квантованных полей, стр. 20—21.

<sup>2</sup> См. *Н. Н. Боголюбов и Д. В. Ширков*, Введение в теорию квантованных полей; *Х. Умэдзаса*, Квантовая теория поля; *Л. Розенфельд*, Квантовая электродинамика, «Нильс Бор и развитие физики», М., 1958.

<sup>3</sup> См. *П. Метьюс*, Релятивистская квантовая теория взаимодействий элементарных частиц.

нения<sup>1</sup>. Особенности поведения электронов изучались путем точных теоретико-физических расчетов в огромном числе работ. Почти неизменно эксперимент с необычайной точностью подтверждал правильность этих расчетов. Эти неизменные подтверждения придали триумфальный характер успехам теории. Ни в одной области науки за все время ее существования не было, пожалуй, достигнуто столь необычайных успехов, как в этой ведущей области теоретической физики за последние три десятилетия. Лучшие физики-теоретики мира приложили свои силы к тому, чтобы создать стройное здание квантовой теории электромагнитного поля. Талантливейшие ученые современности принимали участие в разработке сложной в математическом и физическом отношении теории электрона. Анализируя это повсеместное увлечение теорией электрона, нельзя не заметить ряд особенностей в поведении сотен выдающихся ученых, посвятивших почти всю научную жизнь одной этой проблеме.

Все ученые, начавшие исследовать уравнение электронно-позитронного поля, были абсолютно уверены в справедливости уравнения Дирака. Этому способствовали начальные успехи, связанные с осуществлением, с помощью этого уравнения, расчета величины эффекта Комптона<sup>2</sup>, с открытием и предсказанием свойств позитрона<sup>3</sup>. Далее наступил период извлечения сведений об электроны, в скрытой форме хранящихся в одном компактном уравнении. Именно это обусловило особенность поведения физиков-теоретиков, работавших в этой области науки.

Физики-теоретики с успехом извлекали научные результаты о свойствах того объекта, которого ни один из них не видел и с которым не экспериментировал в какой бы то ни было явной форме. И тем не менее на основе одного лишь тщательного теоретического анализа уравнения Дирака происходило непрерывное развитие теории, ее аппарата и методов. Это был триумф теоретического мышления. Стало ясно, что возможности человеческого мышления в раскрытии законов природы и в научном предвидении необычайно возросли благодаря широчайшему и тончайшему применению специфического математического аппарата (этот математический аппарат в случае теории поля настолько специфичен, что его правильное было бы назвать физико-математическим аппаратом). Это

---

<sup>1</sup> Сравни *Л. Розенфельд*, Квантовая электродинамика, «Нильс Бор и развитие физики», стр. 96—128.

<sup>2</sup> См. *А. Зоммерфельд*, Строение атома и спектры, т. II, М., 1956, стр. 479.

<sup>3</sup> См. там же, стр. 268.

была подлинная победа метода математического моделирования объектов.

Но ясно, что долго этот процесс чисто «внутреннего» развития науки продолжаться не мог, эксперимент когда-то должен был «сбросить на землю» ученых-теоретиков, внести корректив в их работы. Так и случилось. Открытие сдвига уровней атомных электронов<sup>1</sup> ошеломило ученых. Многие из них стали поспешно отказываться от уравнения Дирака; было выдвинуто требование фундаментального изменения модели. Вскоре, однако, было показано<sup>2</sup>, что в расчетах этого эффекта и в уравнении Дирака не представлены члены, соответствующие взаимодействию с флуктуационным электромагнитным и электронно-позитронным полем вакуума. Учет этого обстоятельства снова привел к успеху, теория опять стала подтверждаться с большой точностью. Окрыленные этим успехом, ученые вернулись к привычным методам теоретического исследования.

Успехи этого периода трудно переоценить. За это время была создана релятивистски-ковариантная квантовая теория полей. Однако последующий ряд фундаментальных экспериментальных открытий 1946—1959 гг. заставил физиков пересмотреть свои привычные концепции, ввести в уравнения поля параметры, характеризующие взаимодействие электрона с вакуумом, и уточнить взгляды на природу взаимодействия объектов микромира вообще. Пришлось создавать гипотетические модели, намечать пути учета в уравнениях новых параметров и характеристик частиц. При этом необычайно возросло число работ, посвященных труднейшей проблеме структуры нуклонов  $\pi$ -мезонов, природе гиперонов и  $K$ -мезонов. Возросло богатство теоретических идей, возросли возможности использовавшегося в этих исследованиях математического аппарата, гипотетические модели необычайно обогатились и уточнились. Сейчас идет работа по строгому отбору наиболее подходящих моделей, ищутся новые модели с тем, чтобы после индуктивного отбора связанных с ними гипотез дедуктивным путем открывать новые научные результаты. При этом эксперимент подсказывает ученым-теоретикам новые идеи, помогает отбирать модели науки, ограничивать сферу применения тех или иных из них, служит целям сопоставления объекта и модели. Сами же модельные представления облачаются в форму математических рассуждений, которые часто требуют только для

---

<sup>1</sup> См. Лэмб и Э. Резерфорд, Тонкая структура атома водорода согласно микроволновому методу, «Сдвиг уровней атомных электронов», М., 1950, стр. 45—48.

<sup>2</sup> См. «Сдвиг уровней атомных электронов», а также «Новейшее развитие квантовой электродинамики», М., 1954.

их изложения (а не для показа того, как был открыт соответствующий теоретический результат) 10—12 печатных страниц, на которых с помощью сложнейшего символического аппарата из различных областей современной математики (оперирующего с матрицами, операторами, функционалами и другими абстрактными математическими объектами) осуществляется расчет некоторой величины или вывод определенной формулы. В промежуточных формулах в такого рода выводах обычно не допускается ни одного упрощения, не используются произвольные параметры; эти требования объясняют нам важность развития теории микропроцессов, в которой в качестве констант используются лишь мировые постоянные, такие, как скорость света в пустоте, постоянная Планка, заряд электрона и др.

Возможностями использования описанного выше метода познания до сих пор не располагают ни химия, ни физиология, ни генетика, ни психология, ни многие другие науки. Именно теория полей и теория элементарных частиц дают нам идеал того, какой должна быть логически непротиворечивая теория, какой должна быть модель, чтобы адекватность ее объекту была максимальной, чтобы, затрачивая месяцы и годы на точнейшие теоретические расчеты и их экспериментальную проверку, быть уверенным в том, что конечные результаты соответствуют экспериментальным данным, поскольку процедура расчета следует теоретически оправданной схеме, а выбранная модель позволяет производить такое сравнение результатов теории с данными эксперимента, которое дает однозначное подтверждение или опровержение теории.

Итак, в физике, в особенности в области теории полей, вполне оправдалось то «разделение труда», которое организационно и академически связано с подразделением ученых-физиков на физиков-экспериментаторов и физиков-теоретиков. И это не случайно. Тесное научное взаимодействие теоретиков и экспериментаторов в ходе научных исследований отражает особенности процесса становления модели любой физической структуры, любого процесса. Для того чтобы в ходе научного исследования разрабатываемая модель адекватно отражала все основные особенности объекта модели, необходима двоякая специализация ученых. Одни из ученых экспериментально изучают объект, другие разрабатывают теоретическую модель объекта; одни из них выявляют свойства объекта, организуя взаимодействие его с приборами и известными объектами, другие исследуют ту гипотетическую теоретическую модель, которая сопоставлена объекту, изучают, как



должны меняться характеристики модели в условиях взаимодействия объекта с теми или иными полями (способ учета взаимодействия либо разработан, либо ищется). Экспериментаторы выражают свойства объекта модели на «языке», максимально близком к той экспериментальной обстановке, в которой с помощью приборов и показаний органов чувств воспринимаются качественные и количественные свойства объекта; для них характерно описание хода эксперимента и его результатов в максимально конкретизированной форме (вещество такое-то, температура такая-то, магнитное поле такое-то, чистота вещества такая-то и т. п.). Теоретики же выражают свойства объекта на «языке», максимально близком к строящейся модели этого объекта, представляющей собой определенную математическую структуру. В этом случае пренебрегают всем, что не относится к теоретической сути дела; например, поля фиксируются с помощью некоторой символики; физический прибор находит свое отражение в формулах как своеобразное поле или как соответствующее граничное условие и т. п. Экспериментаторы весьма конкретны в своих заключениях; исходя из них, они вполне уверены в том, что найденное ими новое свойство действительно принадлежит объекту, что задача теперь состоит лишь в том, чтобы найти для этого свойства адекватное отражение на «языке» абстрактной теории. Теоретики же, выдвигая гипотезы и создавая теоретические модели, обобщая имеющиеся теоретические представления и методы, включая в уравнения, описывающие данную модель, новые члены и т. п., отнюдь не до конца убеждены в том, что построенная ими модель будет подтверждена экспериментально.

Вместе с тем экспериментаторы, анализируя опытные данные и сравнивая те или иные теоретические построения, сами выдвигают новые гипотетические модели, подтверждают или опровергают существующие модели, создают гипотезы о свойствах данной модели на «языке» модели и т. п. Теоретики, наоборот, анализируя математическую модель и изучая относящиеся к ней экспериментальные данные, выдвигают идеи новых экспериментов, предлагают описания условий экспериментов, которые надлежит осуществить физикам-экспериментаторам. Таким образом, на определенной стадии исследования теоретики и экспериментаторы меняются ролями.

Экспериментаторы заинтересованы в теоретическом осмыслении своих результатов, в проверке степени совпадения их результатов с существующей теорией. Теоретики заинтересованы в экспериментальной проверке теоретических заключений и в выявлении несогласия их с экспериментальными данными. Те и другие преследуют при этом цель обнаружить основания

для дальнейшего уточнения или пересмотра теоретической модели объекта.

Это взаимодействие экспериментаторов и теоретиков не единичный акт, а непрерывный исторический процесс, приводящий к становлению модели как адекватного отражения объекта, процесс, протекающий десятилетиями и осуществляемый большими коллективами ученых, разделенных в пространстве и во времени, но работающих в условиях широкой взаимной информации. Профессиональное разделение труда между теоретиками и экспериментаторами есть необходимый элемент развития естественных наук, наступающий на определенной стадии их развития.

## 2. Об особенностях процесса построения моделей физики

Квантовая теория<sup>1</sup> (как ранее механика, термодинамика, электродинамика) показала почти для всех экспериментов над частицами возможность такого описания этих экспериментов, в котором не используются ни гипотетические истолкования, ни эмпирический подбор параметров, ни многозначные по смыслу словесные определения и т. п. Построенные уравнения и аппарат квантовой теории при условии заранее установленного соответствия с экспериментальными данными позволили шаг за шагом вывести следствия, которые заключались в принятой модели. Сам аппарат теории почти автоматически в строго аналитической форме ведет к правильным результатам.

Разработанные физиками модели в сущности впервые показали, в какой форме должны строиться истинные модели в науке. Стало ясно, что модель объекта фиксируется той особой математической структурой, которая способна изоморфно или гомоморфно<sup>2</sup> отразить свойства объекта, проявляемые им в различных экспериментальных условиях. Роль математики при этом состоит в том, что она поставляет теоретической физике свои структуры в качестве потенциальных моделей физических объектов. Эти структуры превращаются в модели, используемые в физической науке, лишь тогда, когда элементам структуры дается физическая интер-

---

<sup>1</sup> См. *Л. Розенфельд*, Квантовая электродинамика, «Нильс Бор и развитие физики».

<sup>2</sup> О понятиях изоморфизма и гомоморфизма см. *Ю. Гастев*, Изоморфизм, «Философская энциклопедия», т. 2.

претация; когда устанавливается соответствие между параметрами математической структуры и экспериментально установленными свойствами объекта; когда характеристики элементов модели и самой модели в целом находят подтверждаемое в опыте соответствие свойствам объекта. Таким образом, формулы физики, сопровождаемые теоретическими интерпретациями и пояснениями их физического смысла, вместе с описанием соответствия входящих в них выражений экспериментально обнаруженным свойствам объекта являются по существу моделью изучаемого объекта и, следовательно, отражением в математической символической форме тех зависимостей, законов и связей, которые объективно существуют в природе. Все это вместе и составляет содержание понятия физической модели объекта. При этом наиболее важно подчеркнуть то обстоятельство, что понятие модели ни в коем случае не совпадает с понятием наглядной модели. Вся история развития современной физики, и в особенности квантовой теории, убеждает нас в том, что объекты природы находят адекватное отражение не в форме так называемых наглядных моделей, а в форме математических структур, которые сопровождаются определенными интерпретациями, свидетельствующими о соответствии их данным эксперимента, и не обязательно обладают лишь элементами наглядности.

С другой стороны, элементы наглядности, содержащиеся в моделях науки, по мере разработки теоретических деталей модели видоизменяются, приобретают все большую органическую связь с теорией. Для выработки наглядных представлений необходима определенная степень теоретического понимания изучаемого явления. Так, например, до появления разработанной Ричардом Фейнманом теории полей<sup>1</sup> мало кто мог более или менее наглядно истолковать смысл так называемых членов второго порядка теории возмущения. Между тем фейнмановские графики сделали возможным наглядное мышление в весьма абстрактной области теории. Существенно, что это произошло на определенном этапе развития теории. При этом сама наглядность приобрела здесь своеобразный абстрактный характер (графики описывают графы, построенные из операторов). Однако эта наглядность сослужила свою службу. Имея в виду те или иные графики, физики-теоретики стали продумывать модели частиц, процессов, взаимодействий и т. п. Приведенный пример иллюстрирует ту общую закономерность, что опреде-

---

<sup>1</sup> См. *Н. Н. Боголюбов и Д. В. Ширков*, Введение в теорию квантовых полей; *П. Метьюс*, Релятивистская квантовая теория взаимодействий элементарных частиц.

ленная степень наглядности всегда благотворно сказывается на возможностях дальнейшего развития данных модельных представлений.

Конечно, наглядность, о которой речь шла выше, — это не та наглядность, которую имели в виду сторонники так называемых наглядных моделей. Использование графиков, диаграмм, цифр, букв, символов и т. п. является привычным средством теоретического мышления, поэтому использование графиков импульсного пространства не есть использование наглядности в смысле чувственно воспринимаемого образа объекта.

Элементы наглядности сыграли решающую роль в процессе выработки представлений о поведении атомного ядра как целого (модель ядра как неустойчивой, колеблющейся, заряженной капли, представление о ядре как о вращающейся жидкости, своеобразном гироскопе и т. п.). Однако уже дальнейшие модели ядра — модели ядерных оболочек, так называемая коллективная (или обобщенная) модель ядра, гипотеза так называемой ферми-жидкости, представление о парных корреляциях и т. д. — оказались невыразимыми в терминах наглядной механики или гидродинамики.

Или другой пример. Было время, когда под влиянием успехов релятивизма и квантовоэлектродинамических исследований считалось общепринятым, что нуклоны суть точечные частицы, о структуре которых говорить вообще не имеет смысла. Эти утверждения стали подвергаться сомнению как под влиянием представлений, связанных с идеями так называемой теории нелокальных полей, так и на основе косвенных экспериментальных данных<sup>1</sup>. В результате физики пришли к необходимости введения новых наглядных модельных представлений<sup>2</sup>.

Итак, иногда наглядные модели предшествуют теориям, иногда, наоборот, теории порождают определенные наглядные элементы, представления и модели. В связи с этим в отличие от мнения, высказанного В. А. Штоффом<sup>3</sup>, мы не считаем наглядность атрибутивным свойством модели. Модель может, если это возможно, сопровождаться элементами наглядности. Модель может поясняться наглядным образом, она может в какой-то своей части отождествляться с каким-либо наглядным образом или даже с реальным устройством. Модель сложного явления может по каким-то своим свойствам уподобляться модели некоторого сравнительно простого объекта. Но модель не

<sup>1</sup> См. М. А. Марков, Гипероны и К-мезоны, М., 1958.

<sup>2</sup> См. «Успехи физических наук», т. LXIX, 1960, стр. 3—13.

<sup>3</sup> См. В. А. Штофф, О роли моделей в квантовой механике, «Вопросы философии» № 12, 1958, стр. 67.

обязательно должна быть наглядной моделью, не обязательно должна иметь в качестве атрибутивного свойства наглядность в обычном понимании этого слова.

Конечно, с эвристической точки зрения наглядные представления увеличивают возможности творческого успеха, особенно в том случае, когда эти представления опираются на плодотворные научные теории и теоретические идеи; в этом случае наглядные представления позволяют быстрее высказывать эвристически ценные новые идеи и гипотезы, строить новые теории. Такими примерами полна вся история исследований в области элементарных частиц за последнее десятилетие. И все же наглядность не является атрибутивным свойством моделей.

Подобно тому как мы способны понимать и воспринимать идеи драматурга, читая лишь его пьесы, но не посещая спектаклей, так и ученый способен создавать абстрактные теории и понимать идеи, выраженные в форме математических моделей, не сопровождаемых элементами наглядности; способен развивать науку, не добываясь в обязательном порядке построения наглядных моделей изучаемого объекта. Но подобно тому как идея драматурга более впечатляюща, если она воплощается в сценической форме, любая научная модель лучше воспринимается, если сопровождается элементами наглядности<sup>1</sup>.

Подобно тому как знатоки театрального искусства способны оценить достоинства пьесы до ее постановки путем лишь чтения текста пьесы, так и ученые способны воспринимать чужие идеи, символику, математические модели, теории, не требуя обязательного сопровождения этих идей, моделей, теорий элементами осязаемости, наглядности, не требуя обязательного истолкования модельных представлений объекта в форме наглядной модели. Так же как многие значительные драматургические произведения не сразу находили адекватную сценическую реализацию<sup>2</sup>, так и модели науки часто подолгу ждут своего дополнения элементами наглядности, своего оформления в возможной для них наглядной форме. И подобно тому как не все пьесы доживают до удачной сценической реализации, так и многие модели заменяются другими, не дождавшись ни наглядного истолкования, ни впечатляющего воздействия на научную общественность.

Истинные жизнеспособные идеи рано или поздно находят адекватные формы многопланового наглядного истолкования.

<sup>1</sup> В качестве примера здесь можно привести теорию множественного рождения мезонов Э. Ферми и Л. Ландау.

<sup>2</sup> Вспомним провал первой постановки чеховской «Чайки» и ее последующий триумф в постановке К. Станиславского.

Более того, одна и та же модель может иметь несколько форм наглядного истолкования.

Подобно тому как запись пьесы с помощью, например, печатных знаков совсем не похожа на ее содержание, так сами по себе символы, числа, буквы, уравнения, при помощи которых формулируется модель, физическая теория, ничем не напоминают того объективного содержания, которое с их помощью выражается. Однако определенные правила чтения этих символов, уравнений и т. п., правила понимания их взаимоотношений, правила отнесения к символам некоторых характеристик объекта позволяют ученому воссоздавать в своем мышлении необходимые образы и понятия, связывать их в единое целое, в модель науки, познавать модель как форму отражения объекта. На этом этапе то, что понято в виде образов и систем понятий, в сущности уже передает наиболее существенные черты объекта; оно похоже на объект в наиболее важной своей части.

И подобно тому как скупые слова пьесы в ходе сценического действия создают в сознании зрителей яркий, жизненно правдивый мир образов, подобно этому и ученый, имея дело с математической моделью фактического объекта, рассматривая те или иные отношения между символами, совершая операции над знаками и т. п., вместе с тем (и на основе этого) мысленно воссоздает отношения между элементами модели, постигает объективные свойства отношений изучаемого им фрагмента действительности. И как мы не можем объявить драматурга идеалистом только за то, что он объективное содержание произведения искусства выразил в форме печатных знаков (отнюдь не сходных с отражаемыми предметами и отношениями), так нельзя объявить идеалистом и ученого, избравшего ту или иную символику для отражения тех или иных отношений, закономерностей объективного мира.

### 3. О гносеологическом смысле модели

При гносеологическом истолковании понятия модели встречаются две ошибочные тенденции. Одна из них заключается в абсолютизации, фетишизации моделей. Суть этой тенденции в том, что модель рассматривается в качестве единственно и «первообразно» существующей реальности. Эта тенденция приводит к фетишизации так называемых чистых соотношений и абсолютизации формул и уравнений, к отрицанию объективного бытия объекта модели, непониманию того, что модель существует именно как модель объекта и лишь до тех пор, пока она отражает свойства объекта. Такие

взгляды ведут в конечном счете к идеалистическому пониманию модели, к субъективистскому истолкованию отношения «объект — субъект, создающий модель, — модель».

Некоторые представители естествознания и философской мысли, отчетливо осознающие неприемлемость таких взглядов, ошибочно полагают, будто эти взгляды проистекают единственно из-за «увлечения» естественников математическими средствами. В связи с этим они выступают против применения математики в различных областях науки, и особенно в тех из них, где математические методы только начинают применяться.

Вторая тенденция состоит в абсолютизации и фетишизации наглядности моделей, т. е. в возведении в ранг единственно реального лишь того, что может быть дано в образных представлениях, что может быть чувственно-конкретно, «осязуемо» воспринято и т. п. Такого рода ошибочная тенденция также таит в себе большие методологические опасности. В самом деле, от такого понимания модели один шаг до признания в качестве единственно сущего и изначального лишь человеческих представлений, комплексов ощущений и т. п. Иногда ученые, увлеченные своими исследованиями и не очень разбирающиеся в философии, совершенно искренне полагают, будто все, что не дано в форме ощущений, наглядных и чувственных представлений, не существует. На этой основе ученые, не признающие применимости математических методов в своей области знания, с упорством, достойным лучшего применения, сражаются против абстрактных представлений, дедуктивных теорий, против символики и использования количественных методов.

Если бы творчески работающие физики оказались под влиянием этих двух тенденций, то вряд ли были бы возможны те выдающиеся результаты, которые превратили физику XX в. в ведущую область естествознания. К счастью, ни то ни другое увлечение крайностями в понимании моделей не оказало существенного влияния на развитие физической науки.

Из сказанного ясна важность методологически правильной трактовки понятия модели и соответствующего ему процесса построения моделей науки. Такая трактовка должна содействовать творческому успеху ученых, выработке у них правильной философской методологии, осознанию ими диалектического характера взаимоотношения «модель — объект».

Как указывал В. И. Ленин в своей книге «Материализм и эмпириокритицизм», философский материализм связан с признанием того, что независимо от нашего сознания существует объективная реальность, материя, которая способна действовать на наши органы чувств и через это воздействие находить

отражение в нашем сознании. При этом материализм, и тем более материализм диалектический, не утверждает, что одна форма отражения свойств материи, например отражение в форме наглядного образа, имеет какие-либо гносеологические преимущества перед другой формой, например перед отражением, воплощенным в математической символической, математических соотношениях и т. д. Каждая форма отражения имеет свою специфику и выполняет определенную роль в процессе познания. Во всех случаях отражения объективной реальности в человеческой голове мы имеем дело с идеальным, воспроизводящим характерные черты материального. Идеальное есть образ материального мира; оно вторично, оно в определенной мере субъективно и в определенной мере объективно; в процессе познания содержание идеального становится все более объективным, все глубже, все полнее отображающим реальный мир.

Материализм настаивал и настаивает на признании существования в человеческом мышлении наряду с другими такими сложными формами отражения, как математические модели, абстрактные теоретические построения, особо сложные математические структуры и т. п. Эти формы отражения необходимы для выражения наиболее тонких и сложных качественно-количественных отношений материальной действительности. Непонимание этого тезиса материализма способно посеять лишь неверие в возможность познания мира человеком. Если бы мир был так прост, что его можно было бы изучать лишь путем смены различных наглядных представлений и наглядных моделей, в науке и философии вряд ли вообще возник бы вопрос о познаваемости законов природы и выработке наилучших познавательных методов. История науки, и в особенности за последние десятилетия, убедительно показала, какое важнейшее значение имеет построение моделей, в частности математических, символических, объектов познания. Поэтому-то вопрос о роли моделей в науке и привлекает к себе в настоящее время такое внимание представителей различных современных философских течений<sup>1</sup>.

\* \* \*

Резюмируем теперь изложенное выше понимание модели. В процессе познавательной деятельности человека на различных ее этапах вырабатываются определенные системы

---

<sup>1</sup> Критика идеалистических трактовок роли моделей в квантовой механике содержится в статье В. А. Штоффа «О роли моделей в квантовой механике», «Вопросы философии» № 12, 1958.



мыслей — в форме представлений, понятий, суждений, математических структур, математических соотношений, теорем и т. п., отличающиеся тем, что единство и цельность каждой системы такого рода обусловлены взаимосвязью свойств и отношений в изучаемом объекте. Эти системы выражаются с помощью тех или иных материальных средств символики, предложений естественных языков, технических конструкций и т. д. Каждую систему мыслей такого рода естественно рассматривать в качестве модели, или теории объекта.

Какова бы ни была модель (наглядной или ненаглядной), она имеет некоторое идеальное содержание, которое существует в человеческом мышлении и фиксируется, например, на бумаге в виде формул, уравнений, планов, чертежей, графиков, рисунков, в виде словесного описания на том или ином языке<sup>1</sup>, а иногда и реализуется в виде машин, механизмов, тех или иных конструкций и т. п. Все выше перечисленное составляет «язык» модели, смысл которого раскрывается лишь в ходе использования этого «языка» в процессе познания.

Модель приобретает объективно истинное содержание при соблюдении ряда условий, из которых для наших целей важно отметить следующие.

Во-первых, среди мыслей, составляющих идеальное содержание модели, должны быть мысли, отражающие определенные соответствия между знаками, образами, символами, возникшими в сознании исследователя (и выражаемыми с помощью тех или иных символических и языковых средств, например, на бумаге), и объективными характеристиками изучаемого объекта. Характеристики объекта модели должны определяться (непосредственно или опосредованно) путем проведения определенной процедуры измерений (в эксперименте или наблюдении), поставленных так, чтобы гарантировались: а) надежность показаний системы приборов, б) измерение именно интересующей нас характеристики, в) отсутствие существенного влияния на процесс измерения каких-либо помех.

Во-вторых, должна быть выработана четкая процедура логической проверки справедливости системы умозаключений, основывающихся на данных посылах, а именно такая, что ее результаты не зависят от произвола субъекта, в частности от его желания получить тот или иной ответ.

Если эти требования выполнены, полученная система заключений о свойствах модели «очищается» от влияния субъ-

---

<sup>1</sup> Кстати сказать, любое описание предполагает определенную, развернутую во времени последовательность «подачи» формул, пояснений, обозначений, определений и т. п.

екта и наполняется независимым от него содержанием. Объективность этого содержания возрастает при выполнении дальнейших условий.

В-третьих, должна иметься определенная процедура проверки независимости тех или иных «реакций» правильно связанных между собой систем объектов, приборов и т. п. от экспериментатора. Эти процедуры давно разработаны и постоянно улучшаются как в целом, так и в применении к отдельным наукам; они в достаточной мере универсальны, а следовательно, и формализованы настолько, что применимы ко всем возможным экспериментам.

В-четвертых, должна существовать определенная согласованность между показаниями приборов и значениями рассматриваемых величин, вычисленными на основе теоретических процедур, основанных на заданных свойствах модели. Теоретическая физика, например, выработала ряд методов проверки такого рода согласованности. Мастерство экспериментатора именно в том и состоит, чтобы показать наличие совпадения (или несовпадения) предсказаний теории с экспериментальными данными.

В-пятых, должна существовать определенная согласованность между теоретически предсказанным (на основе построенной модели) поведением объекта и реальным его поведением в условиях практики, т. е. в условиях, когда реакция объекта на те или иные воздействия используется для тех или иных важных для человека целей. В этом случае объект испытывается в самых различных качественно-количественных условиях. При этом испытанию подвергается не один избранный экземпляр объекта, а множество экземпляров. Объект и его реакции (т. е. его функционирование, например, в техническом устройстве) используются многократно; при этом от объекта требуется, чтобы он воспроизводил без существенных искажений определенную заранее известную систему реакций на заданные воздействия. Объекты, изготовленные в массовом количестве, массово используются; способ их изготовления стандартизуется, что приводит к стандартизации их реакций в стандартных условиях применения; использование таких объектов может быть поручено разным лицам, зачастую таким, которые вообще не осведомлены об их устройстве и тех явлениях, на которых основано их использование.

Такого рода система испытаний непосредственно вплетена в человеческую практику. Побочным, но важным результатом испытания объекта в условиях практики является проверка объективности соответствия предсказаний теории (на основе принятой модели), относящихся к свойствам объекта, свой-

ствам, которые проявляет объект в условиях массового, длительного, всестороннего и жестокого испытания в естественных или искусственных условиях.

Таким образом, существует возможность по мере построения моделей проверять их истинность, их соответствие своим объектам, проверять объективность содержания и истолкования особенностей модели. Существует возможность так формулировать мысли, относящиеся к данной модели, чтобы они по возможности не зависели от субъекта, конструирующего модель.

Практика — самая серьезная и решающая проверка истинности соответствия «модель — объект». Человеческая практика отличается тем, что не предполагает каких-либо особых процедур, позволяющих проверять независимость соответствия «объект — модель» от человека, строящего модель: сама практика и есть по существу окончательная и наилучшая система таких процедур. Практика есть критерий истинности познания. В частности, она является критерием истинности познания объекта в форме данной его модели.

#### 4. Эволюция моделей

Попытаемся разобраться в особенностях исторической смены одних моделей другими на материале физики последних десятилетий.

Вспомним известную капельную модель ядра Н. Бора<sup>1</sup>. Эта модель прошла этап бурного развития и теперь служит в качестве частной модели ядра, используемой в тех случаях, когда желают представить лишь некоторые особенности поведения тяжелых ядер, подвергнутых возбуждению частицами сравнительно небольшой энергии. Но, несмотря на название *капельная модель*, никто из мыслящих физиков даже в период кульминации этой модели не представлял ядра действительно в виде капли жидкости; физики лишь частично уподобляли ядро атома поведению капли, а именно с точки зрения его термодинамических свойств, чрезвычайно малого времени релаксации возбужденного состояния, отсутствия «памяти» у нуклонной «жидкости», не сохраняющей следов прошлых взаимодействий, и т. п. Эти черты образности как раз и послужили тому, чтобы найти эвристические пути расчетов, хотя уже тогда никто из серьезных ученых не сомневался в том, что применение термодинамических соображений к системам с

---

<sup>1</sup> См. С. Мошковский, Модели ядра, «Строение атомного ядра», М., 1959; М. А. Марков, Гипероны и К-мезоны, стр. 48.

малым числом нуклонов не совсем обосновано, что, несмотря на «капельность» вещества ядра, квантованно-орбитальные движения, по-видимому, имеют место<sup>1</sup>. Наглядные модельные представления играли здесь лишь эвристическую роль, способствовали выработке определенных способов выражения и т. п. Само упоминание термина *капельная модель* вызывает в сознании ученых представления о совокупности экспериментальных и теоретических данных, образы того, как протекает реакция в ядре (например, представление о том, что захватываемый ядром нуклон сталкивается с одним из нуклонов ядра, теряя при этом энергию; что в дальнейшем он все более растрчивает свою энергию на подобные столкновения, так сказать «запутывается» в ядре, и энергия возбуждения нуклона переходит в ядерное «тепловое движение»; что по прошествии некоторого времени энергия возбуждения сосредоточивается на одном из нуклонов и он вырывается из ядра, унося с собой частично или полностью избыток энергии ядра, и т. д.). Вместе с этими образами в памяти возникают и представления о количественных связях и соотношениях, что позволяет более полно воссоздавать картину явления (рассчитывать энтропию ядерного вещества, энергетические уровни ядра и т. п.).

Необходимо заметить, что уже тогда некоторые физики, обладавшие развитыми наглядными представлениями и отдававшие себе отчет в ограниченности капельной модели ядра, предлагали иные модели. Но другие, «устойчивые к моделям» ученые — а таких было большинство — восставали против «измены» крупнейшему авторитету науки.

Эта «инерция» в исследованиях имеет свое оправдание, ибо, как показала практика, пока модель не исчерпала себя и не созрели условия для ее изменения, ее не следует менять. Но когда появляются факты, необъяснимые в рамках старой модели, когда недостатки старой модели раскрыты, возникает необходимость отбросить ее и построить новую; новая модель подобно предшествующей также сопровождается некоторым комплексом наглядных представлений, использует новые аналогии из других областей знания и т. д.

Характерная черта развития моделей в науке состоит в том, что новые модели используют определенные элементы старых моделей. Физики, воспитанные на принятых ранее моделях изучаемых объектов, так привыкают к этим моделям, настолько наглядно их себе представляют, что эти первоначально достаточно абстрактные модели сами для них стано-

---

<sup>1</sup> См. С. Мошковский, Модели ядра, «Строение атомного ядра»; М. А. Марков, Гипероны и К-мезоны.

вятся образами, наглядными моделями для иных, более сложных моделей тех же самых или других объектов. Так, например, в современной физике нуклоны представляются по аналогии с планетарной моделью атома Н. Бора состоящими из внутреннего «ядра» и внешней мезонной «шубы», а новые, нестабильные частицы мыслят как образования, состоящие из нескольких сильно связанных элементарных частиц, находящихся какое-то время в промежуточном возбужденном состоянии<sup>1</sup>, и т. п. Эти образы навеяны не только наглядными представлениями, порожденными экспериментальным изучением микромира, и представлениями, связанными с комплексом свойств того или иного уравнения, но также и определенными аналогиями, относящимися к тем моделям, с которыми физика ранее имела дело.

Таким образом, достигнутые на некотором этапе знания о качественных и количественных особенностях объекта, выраженные в математической форме и соответствующим образом физически истолкованные, могут сами по себе сделаться основой для развития новых представлений и возникновения образов, относящихся к свойствам уже иных микрообъектов. Они могут стать основой для создания новых элементов наглядности (вспомним в этой связи пояснение свойств нуклонов посредством ссылок на образы из атомной и ядерной физики). В данном случае математическая форма описания является не «врагом» наглядности наших представлений и модельности мышления, а важнейшим средством четкого как количественного, так и качественного уточнения модели объекта.

Рассмотрим подробнее вопрос об использовании математики и математических структур для построения моделей.

Некоторые авторы, говоря о математике и ее применениях в химии, биологии и т. п., явно или неявно отстаивают тезис о том, будто математика способна отражать лишь количественные отношения и не может отражать качественные особенности объектов<sup>2</sup>. Этот тезис совершенно неверен и является проявлением вульгарного понимания количественных отношений как предмета математики. Он неверен даже в применении к школьной математике, не говоря уже о всем развитом здании современной математической науки, включающем в себя изучение огромного разнообразия математических объектов, структуры которых разительно не сходны между собой. Математика в течение последних десятилетий развила разнообразные структуры, способные отражать и количественные, и качественные

---

<sup>1</sup> См. *М. А. Марков*, Гипероны и *K*-мезоны.

<sup>2</sup> См., например, *Э. Ильенков*, Количество, «Философская энциклопедия», т. 2.

особенности различных объектов, таких, как электроны, атомы и атомные ядра; физический вакуум, гравитационные поля, плазма; звездные миры и живые организмы; автоматы, релейно-контактные устройства и т. п. Еще более разнообразны структуры, «заготовленные» математиками впрок; многие из этих структур еще не нашли применения в конкретных науках.

Для каждого объекта физики приспособляется имеющийся или строится новый, адекватный для него математический аппарат; при этом один и тот же математический аппарат может быть использован для многих разных объектов. Так, известно, что аппарат линейных операторов способен отражать особенности колебания струн и мембран, особенности поведения электронов в атомах и молекулах и т. д. Конечно, несмотря на сходство явлений, охватываемых одним и тем же математическим аппаратом, между ними имеются и глубокие различия, которые находят свое выражение в характере употребляемых операторов и в виде так называемых собственных функций. Хорошо известно, что свойства атомов натрия отличны от свойств углерода, и всем изучающим квантовую механику известно, насколько качественно различны их математические описания. Свойства различных элементарных частиц и сами эти частицы качественно выделяются прежде всего указанием на различие описывающих их уравнений. Об этой особенности современной теоретической физики мы уже упоминали. То обстоятельство, что некоторые классы уравнений движения поля по своим трансформационным свойствам способны нести на себе качественную нагрузку, стало уже привычным явлением для физиков-теоретиков, работающих в области физики полей. Это позволяет утверждать, что при полноценном процессе отражения не может быть резкого разделения количественных и качественных особенностей объекта.

Анализ математических структур показывает, что с одной и той же структурой можно сопоставить несколько различных, но изоморфных друг другу природных структур. Это, конечно, не означает, что последние тождественны между собой. Известно, что уравнения аэродинамики и гидродинамики тождественны, но это не означает тождественности газовой фазы фазе жидкости. С другой стороны, одну и ту же структуру природы можно описать несколькими различными математическими структурами. Так, например, существует несколько различных математических описаний квантовой механики<sup>1</sup>. Каждая такая

---

<sup>1</sup> См. Р. П. Фейнман, Пространственно-временной подход к нерелятивистской квантовой механике, «Вопросы причинности в квантовой механике», М., 1955, стр. 167.

математическая структура позволяет наилучшим образом отразить какие-то особенности структуры данной природы. Чем полнее становится математическая модель объекта, тем все в большей и большей степени эта модель индивидуализируется, приспособляется для описания именно данного объекта, тем меньше приходится прибегать для описания объекта к другим математическим средствам, подходам, приближенным описаниям и т. п.

\* \* \*

Подведем итоги. Математическая модель объекта — это содержание той системы математических соотношений, которая описывает максимально полно объект модели. Существенно, что к числу условий такого описания относится индивидуализация (в применении к объекту модели) всех характеристических размерных коэффициентов и постоянных, фигурирующих в этих соотношениях, а также наличие способов измерения величин, относящихся к объекту и выявляемых при его взаимодействии с иными объектами — элементарными частицами, физической средой, полями, приборами и т. д. Если при этом какие-либо стороны поведения объекта могут быть пояснены путем сравнения с поведением какого-либо объекта иной, более простой природы или путем образования наглядного образа на основе системы образов иного, более простого типа, то эта система образов может быть названа наглядной моделью данного объекта. Наглядная модель не должна противоречить математической модели. Однако должны быть точно известны границы применимости наглядной модели, наглядных представлений. Наглядные представления, наглядные модели — это лишь дополнительные средства при разработке теоретических моделей, лишь средства для лучшего качественного и количественного осмысливания особенностей данной теории. Они помогают активному процессу творчества ученого-теоретика. Они оказывают неоценимую помощь физикам-экспериментаторам в процессе содержательного интуитивного мышления, способствуя разработке новых экспериментов, часто несовместимых с господствующими теоретическими представлениями. При этом наглядные модели не остаются неизменными: для каждой из них наступает момент, когда она либо заменяется другой, более полной наглядной моделью, либо уточняется посредством сопоставления с некоторой более строгой математической структурой. Наглядные модели беспрестанно развиваются и совершенствуются учеными в ходе развития науки и практики.

## 5. О математических моделях в науке

Одна из основных задач науки заключается в математическом моделировании объектов природы. Развитию во многих научных дисциплинах математического моделирования предшествует этап нематематического (в значительной степени наглядного) моделирования. Так обстоит дело, например, в биологии, где модельные представления носят в подавляющей своей массе нематематический характер. Но и для этой науки неуклонно приближается день, когда будут созданы математические средства, способные адекватно отражать рассматриваемые в ней явления, например основные особенности эволюционного видообразования. Математический аппарат вместе с соответствующими биологическими интерпретациями дает в этом случае более полную модель изучаемых процессов. Было бы неправомерно ограничивать возможности применения математических методов в биологии на том основании, что первые попытки построения моделей в этой науке еще далеки от совершенства (например, еще не отражают всех известных тонких закономерностей видообразования). Это и неудивительно, так как математическое моделирование в науке о жизни делает еще только первые шаги, которые, кстати сказать, осложняются тем, что в самой биологии во многих случаях отсутствует четкое и ясное понимание существа подлежащих моделированию процессов.

Ситуация в биологии несколько напоминает ту ситуацию, которая в настоящее время сложилась в области комплексной автоматизации процессов производства как в нашей стране, так и за рубежом. Современная наука и техника открывают возможности создания автоматов требуемого типа для многих технологически трудных участков производства. Однако реализация этой возможности затрудняется тем, что во многих случаях не существует необходимых количественных описаний реально осуществляемых процессов производства. Более того, зачастую не известен даже тот параметр, который определяет основной показатель выпускаемой продукции. Для выявления требуемых количественных характеристик данного процесса необходимо сотрудничество инженеров и математиков. На долю последних выпадает основная тяжесть задачи, так как именно математики, владеющие соответствующим научным аппаратом, в состоянии находить технологические и инженерные решения, которые не в состоянии найти не вооруженные математикой специалисты.



Вообще сотрудничество специалистов в области конкретных областей науки и техники с математиками — это не новая черта в истории науки и техники. Ведь построение математической модели объекта никогда не является чем-то внешним объекту: процесс моделирования — это активный процесс, который заставляет уточнять представления, правильно соотносить друг с другом величины, выяснять существенное в ходе данного реального процесса.

Плодотворность метода математического моделирования подтверждена всей человеческой практикой; это великое средство научного исследования, применение которого невозможно отвергать ни в какой конкретной области науки.

## 6. О процессе построения моделей объекта как процессе управления

Кибернетика как наука о процессах управления и связи в сложных динамических системах, прежде всего в машинах и живых организмах<sup>1</sup>, с необходимостью приводит к взгляду на процесс построения моделей в науке как на определенный вид процессов управления. В самом деле, всякая попытка познать объект природы есть попытка со стороны человека отобразить в своей голове особенности этого объекта с тем, чтобы человек мог в дальнейшем, используя познанные особенности объекта, управлять им в различных условиях, а также предсказывать будущее поведение объекта. При этом процесс управления объектом природы может осуществляться не только тем человеком, который получил относящиеся к объекту познавательные результаты, но и многими людьми, в том числе теми, которые знают лишь процедуры воздействия на объект, приводящие к заранее известным проявлениям объекта (так называемые эксплуатационные свойства объекта), но не осведомлены о более глубоких закономерностях, определяющих характер реакций объекта.

Можно утверждать, что мозг человека, рассматриваемый как управляющая система высокой степени сложности, устроен так, что процесс его эффективного функционирования в качестве познающей системы связан с составлением плана действий, основанного на моделях того объекта, воздействие на

---

<sup>1</sup> См. *Н. Винер*, *Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине*; *А. И. Берг*, *О некоторых проблемах кибернетики*, «Вопросы философии» № 5, 1960, стр. 51; *его же*, *Проблемы управления и кибернетика*, «Философские вопросы кибернетики», стр. 134—179; *А. Берг*, *Б. Бирюков*, *Н. Бернштейн*, *А. Китов*, *А. Напалков*, *А. Спиркин*, *В. Тюхтин*, *Кибернетика*, «Философская энциклопедия», т. 2.

который «планируется» мыслящим человеком. При этом модель всегда анализируется «планирующим» субъектом с целью повышения степени соответствия «модель — объект», что приводит к возрастанию эффективности человеческих действий.

Понятия *план действия* и *модель объекта* предполагают наличие в мозгу человека, как и в управляющей системе определенной конструкции, некоторых материальных структур, с которыми связана планирующая и управляющая деятельность человека. То, что *план действия* и *модель объекта* обусловлены вполне определенными причинно-следственными связями в мозгу человека, непосредственно не делает еще содержание этих понятий объективным в смысле отражения в них свойств изучаемого объекта. Объективность их имеет своим источником практику человека. В сознании отдельного человека, поскольку последний успешно действует как исторически конкретная, включенная в общественную практику личность, всегда имеется и такое содержание, которое определено окружающей материальной действительностью и с той или иной надежностью и полнотой отображает свойства окружающих предметов, вещей, явлений. На каждом этапе процесса познания действующий субъект должен знать, что его попытка выполнить данное действие, использовать данные свойства может окончиться неудачей. Он должен знать, что его план действий, его модель данного объекта могут в какой-то степени не соответствовать друг другу. Он должен знать, что процесс управления, овладения объектом может быть осуществлен лишь в результате получения сигналов, информирующих о степени расхождения между действительными проявлениями объекта и проявлениями, ожидаемыми на основе принятой модели.

Всякая новая ступень в расширении наших знаний об объекте базируется на том, что уже достигнуто; она начинается обычно с введения некоторых поправок, новых элементов в старые знания, с создания новых понятий, с совершенствования теоретического, особенно математического, аппарата; при этом существенное значение имеет учет данных эксперимента и наблюдения, использование предупреждающих сигналов, говорящих об имеющихся расхождениях между используемой или построенной моделью и натурой. Критерием правильности познавательной работы человека является эксперимент, практика (как обобщенный эксперимент, протекающий в наиболее тяжелых, жестких, непредвиденных условиях). Теория (модель, не испытанная на практике) является подобием не прошедшего практической проверки автомата, в правильном функционировании и надежности работы которого у конструктора нет уверенности.

Процесс научного мышления с определенной точки зрения предстает перед нами как некая разновидность процесса управления, осуществляемого коллективами ученых, инженеров, рабочих в историческом процессе овладения силами природы.

\* \* \*

Рассмотрим в определенной мере формализованную схему изучения модели произвольного объекта  $A$ . Будем обозначать модель объекта  $A$ , существующую к моменту постановки  $i$ -го эксперимента  $E_i$  (или серии экспериментов), через  $a_{i-1}$ . Будем также предполагать, что экспериментатор воспроизводит модели объекта  $A$  в терминах и символах некоторого (изобретенного им или имевшегося ранее) аппарата обозначений, знаков, понятий, формул и т. п. Если у экспериментатора есть достаточные (экспериментальные и теоретические) данные об объекте, он, используя средства этого аппарата, строит модель  $a_0$  в первом приближении. Затем он ставит эксперимент (или серию экспериментов)  $E_1$  и смотрит, соответствуют ли данные этого эксперимента модели  $a_0$ . Если ожидаемое соответствие имеется, то модель сохраняется; если же соответствие нарушается, то модель  $a_0$  уточняется, т. е. создается новая модель  $a_1$ . Далее ставится новый эксперимент (или серия экспериментов)  $E_2$ . Если результаты, которые дает  $E_2$ , находятся в несоответствии с моделью  $a_1$ , эту модель видоизменяют, превращая в модель  $a_2$ , и т. д. Этот процесс исправления созданных моделей в соответствии с поступающими данными эксперимента протекает, как говорят в кибернетике, по схемам обратной связи<sup>1</sup>. Еще не было ни одной полноценной научной теории, при создании которой ученые не сравнивали бы — хотя бы качественно, косвенно — следствия из этой теории с данными эксперимента или практики. Именно это обстоятельство лишает почвы какие бы то ни было измышления идеалистов о том, что теоретики чуть ли не «из самих себя» ткнут «свободные творения науки» — абстрактные понятия и теории.

На сравнительно высокой ступени приближения свойств модели  $a_i$  к свойствам объекта  $A$ , т. е. когда модель  $a_i$  объясняет относящиеся к объекту основные экспериментальные результаты, экспериментатор начинает предсказывать те свойства (или реакции) объекта  $A$  — обозначим их через  $R$  ( $\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_n$ ), — которые объект должен проявлять в ответ на определенные воздействия  $L$  ( $\beta_0, \beta_1, \dots, \beta_n$ ). Если экспери-

---

<sup>1</sup> О понятии обратной связи см. *Н. Винер*, Кибернетика, или Управление и связь в животном и машине, стр. 124—146; *М. Г. Гаазе-Рапорт*, Автоматы и живые организмы, М., 1961, стр. 42—48.

ментатор замечает, что одно или несколько из этих свойств объекта  $A$  таковы, что наличие их может быть проверено на практике, он помещает объект  $A$  в условия, максимально близкие к тем, в которых наилучшим образом (с точки зрения модели  $a_i$ ) должны проявиться ожидаемые свойства. Если эти свойства действительно проявляются, в условия эксперимента вносятся изменения. Если рассматриваемые свойства в новых условиях не проявляются, т. е. если вместо ожидаемых реакций  $R(\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_n)$  обнаруживаются некоторые другие реакции  $R'(\gamma_0, \gamma_1, \dots, \gamma_n)$ , то экспериментатор старается понять и количественно проанализировать реакции объекта  $A$  в новых условиях. Если модель  $a_i$  позволяет понять полученные результаты, она остается в силе; если же нет, то либо модель  $a_i$  уточняется, исправляется, т. е. переходит в близкую ей модель  $a_{i+1}$ , либо радикально меняется.

Чем больше экспериментальных фактов, данных практики подтверждает справедливость модели  $a_i$ , отображающей объект  $A$ , тем труднее бывает отказаться от модели  $a_i$  даже в том случае, когда моделью  $a_i$  никоим образом нельзя объяснить новые факты. В таком случае становится необходим так называемый решающий эксперимент, т. е. эксперимент, объяснение которого возможно лишь в альтернативной форме: либо реакция  $\gamma$  объекта  $A$  на воздействие  $\beta$  такова, что она несовместима с моделью  $a_i$ , либо эта реакция совместима с моделью  $a_i$ . Если тщательно проверены все звенья эксперимента и достаточно хорошо изучены объекты, взаимодействующие с изучаемым, то в случае несовместимости результатов решающего эксперимента с моделью  $a_i$  необходимо отказаться от нее в пользу некоторой новой  $a_{i+1}$ , такой, что: 1) модель  $a_{i+1}$  объясняет качественно и количественно все то, что объясняла модель  $a_i$ ; 2) она объясняет сверх того реакцию  $\gamma$  объекта  $A$  на воздействие  $\beta$ ; объяснение считается удовлетворительным, если оно лишено внутреннего противоречия и количественно согласуется с экспериментом; 3) модель  $a_{i+1}$  предсказывает и такие реакции объекта  $A$  на некоторые новые, неиспробованные воздействия, которые не могли быть предсказаны на основе модели  $a_i$  (в этом случае ставятся дополнительные эксперименты для установления правильности этих предсказаний); 4) элементы модели  $a_{i+1}$  таковы, что они обобщают элементы модели  $a_i$ ; в каких-то частных условиях модель  $a_{i+1}$  совпадает с моделью  $a_i$ ; при этом следует показать, что имевшееся ранее согласие  $a_i$  с реакциями объекта  $A$  на ограниченное число воздействий объясняется именно тем, что ни в практике, ни в эксперименте до сих пор не было выхода из условий, при которых справедлива модель  $a_i$  (а если выход за эти условия имел

место, то всегда имело место и несогласие модели  $a_i$  с реакциями объекта  $A$  на эти воздействия). После того как эксперимент подтвердит справедливость предсказаний поведения объекта  $A$  на основании модели  $a_{i+1}$  и все вышеупомянутое будет выполнено, модель  $a_{i+1}$  принимается.

Когда модель  $a_{i+1}$  установлена, начинается усиленная разработка ее деталей. Предметом изучения становятся возможные новые реакции объекта  $A$  на новые воздействия; ставятся эксперименты, изобретаются устройства, предназначенные использовать ожидаемые реакции объекта  $A$  на новые воздействия, пока, наконец, объект  $A$  не делается предметом практики. Практика подвергает объект  $A$  еще более всестороннему изучению в разнообразных условиях, выявляет ранее неизвестные его особенности, вынуждает изучать  $A$  еще с какой-либо новой стороны и т. д. Этот процесс протекает до тех пор, пока не станет ясным, что модель  $a_{i+1}$  либо неполна, либо вообще неудовлетворительна. После этого начинается работа по созданию уточненной или новой модели  $a_{i+2}$ .

Итак, циклы познания закономерностей окружающего нас мира таковы, что мы строим все более и более совершенные модели объектов, все лучше и лучше отражая в них наиболее существенное из того, что нам известно об объекте и его реакциях на воздействия различных факторов, сил, сред и т. п. До каких обобщений дойдет модель  $a_i$  со временем, зависит от того, каков объект  $A$ . Так, например, для атомного ядра за последние 30 лет было предложено три-четыре основные модели; в течение 50—60 лет сменяло друг друга более трех моделей кристаллических решеток металлов и т. д.

Познавательная деятельность человека развивается по спирали, к «виткам» которой в определенных пределах, обусловливаемых системой абстракций (отвлечений) кибернетики, возможен подход как к процессу управления. Спиралевидный характер процесса познания — один из истоков возможности адекватного познания мира человеком и создания управляющих систем, способных оказать ему помощь в покорении сил природы. Подобно тому как автоматы были бы абсолютно непригодны для целей автоматического управления, если бы в них не были предусмотрены обратные связи, так познавательная работа человека была бы бесплодной, если бы человек не обращался к опыту, эксперименту, практике и затем на основе этого не переходил бы к новым экспериментам и новой практике, но уже с позиций более глубоких, высших научных представлений, моделей, теорий и т. п.

Б. С. ГРЯЗНОВ

## **Некоторые гносеологические аспекты кибернетики**

Практическая деятельность людей постоянно порождает вопросы, на которые нужно получить ответы у самой природы. Однако не всякий вопрос является осмысленным и не на всякий вопрос можно получить ответ. Возможности науки на каждом данном этапе развития познания ограничены спецификой объектов научного исследования и достигнутым уровнем знаний. Поэтому ответ на вопрос: «Какие вопросы являются осмысленными, а какие нет?» — не может быть однозначным для всех наук и во все времена. Кроме проблемы: «Какие вопросы в науке можно задавать, а какие нельзя?» — существует еще вопрос: «Как задавать вопросы и как на них получать ответы?» Совокупность данных вопросов составляет предмет методологии наук и анализа методов научного исследования.

Начиная с Ф. Бэкона, философы постоянно занимались проблемами методологии научного исследования. Однако решение этих проблем не могло быть осуществлено в силу господства идеалистического и метафизического мировоззрений. С возникновением марксистско-ленинской философии появились реальные возможности с научных позиций решать всю совокупность вопросов методологии наук. Возрастающая роль науки в развитии современного общества, в деле построения коммунизма и превращение ее в непосредственную производительную силу актуализировали стоящую перед марксистско-ленинской философией задачу разработки вопросов методологии научного знания. Такая разработка тем более необходима, что именно методологические проблемы науки пытается в настоящее время особенно использовать буржуазная философия и идеология, чтобы воздействовать на мировоззрение интеллигенции.

Успешное решение методологических проблем науки осуществляется в настоящее время не только силами философов, но и представителями конкретных наук. Тем не менее ни один специалист в какой-либо конкретной области науки не может сделать и шага в методологии, без того чтобы не обратиться к тем научным результатам, которые получены в области теории познания. Большую остроту приобрели в настоящее время гносеологические проблемы, выдвинутые развитием кибернетики. И это не только потому, что кибернетика является наиболее молодой и многообещающей отраслью знания, но и потому, что она претендует на исследование как искусственно созданных автоматических устройств, так и жизнедеятельности человека, включая и человеческое мышление. Кроме того, кибернетика нашла применение в самых различных областях научного знания. Методы, которые применяет кибернетика в исследовании своих объектов, становятся применимыми в самых различных областях, в силу чего эти методы приобретают общенаучное значение.

Конечно, кибернетика не является наукой, занимающейся исследованием процесса познания. В этом отношении она отнюдь не может заменить гносеологии. Однако в силу особенностей предмета кибернетики перед ней остро встают вопросы, как изучать данный объект, какие средства исследования в данном случае оказываются достаточными, а какие нет. Очевидно, что на эти вопросы нельзя дать ответа вне их гносеологического анализа. В предлагаемой статье мы намерены проанализировать одно из понятий кибернетики, которое имеет важное методологическое значение, а именно понятие «черный ящик»<sup>1</sup>.

\* \* \*

Понятие «черный ящик» — абстракция, отражающая не какой-либо объект (как это может показаться по этимологическому значению слова)<sup>2</sup>, а отношение исследователя к объекту, причем такое отношение, которое в действительности в чистом виде почти никогда не осуществляется. Тем не

---

<sup>1</sup> В статье мы будем использовать понятие «черный ящик» в смысле, придаваемом ему У. Р. Эшби в его книге «Введение в кибернетику», Э. Ф. Муром в его статье, помещенной в сборнике «Автоматы» под редакцией К. Э. Шеннона и Дж. Маккарти.

<sup>2</sup> Термин «черный ящик» является буквальным переводом английского выражения «black box». Однако в английском языке (особенно в США) слово *black* в некоторых контекстах имеет значение *секретный, засекреченный*, что, безусловно, более верно выражает смысл этого термина в кибернетике. Мы тем не менее будем употреблять термин «черный ящик», так как он получил в нашей литературе права гражданства.

менее оно оказывается весьма плодотворным при выяснении роли и значения некоторых методов исследования, и особенно там, где эмпирическое и теоретическое познание тесно связаны между собой.

Под «черным ящиком» в кибернетике понимают некоторое «запломбированное» устройство, внутрь которого не может заглянуть исследователь. Последний может лишь воздействовать на данное устройство при помощи каких-либо средств (звука, света, температуры, электричества и т. д.), фиксируя эти воздействия в определенной временной последовательности. Кроме этого, исследователь имеет возможность наблюдать реакцию «черного ящика» на эти воздействия и фиксировать ее. Это отношение между исследователем и объектом исследования можно пояснить с помощью следующей ситуации. Представим себе, что перед нами находится телевизионный приемник со множеством рукояток. Описания правил пользования приемником нет. Необходимо поворачивать в какой-либо последовательности рукоятки (воздействовать тем самым на вход устройства) и фиксировать наблюдаемый эффект (на выходе устройства). В конечном результате задача сводится к тому, чтобы научиться так воздействовать на приемник, чтобы получать желаемый результат.

В связи с познавательной ситуацией, выражаемой в понятии «черного ящика», естественно возникают вопросы, как изучать данное устройство и каковы вообще возможности такого способа исследования. Гносеологический подход к данной проблеме тесно связан с анализом категорий сущности и явления. Действительно, наблюдаемые входы и выходы любой системы (независимо от того, даны они нам непосредственно в нашем восприятии или же познаются через показания каких-либо приборов) выступают для исследователя как явление; исследование же закономерностей функционирования системы представляет собой познание сущности. Дело, конечно, не в простом совпадении понятий кибернетики и категорий теории познания, а в возможности более точно понять, в чем суть перехода в процессе познания от явления к сущности, от сущности первого порядка к сущности второго порядка и т. д. Остановимся на этом несколько подробнее.

При анализе процесса познания нужно иметь в виду, что переход от познания явления к познанию сущности не тождествен переходу от живого созерцания к абстрактному мышлению. В познании явления существенную роль играет логическое мышление. Каждый реальный объект, который мы начинаем исследовать, обладает бесконечно большим числом свойств, а следовательно, его можно рассматривать как «черный



ящик» с бесконечным числом входов и выходов. Никакой исследователь, конечно, не в состоянии зафиксировать всю эту бесконечную совокупность, да на практике этого никогда и не требуется. Таким образом, первое, что должен сделать исследователь, — это определить, какие входы и выходы системы будут исследоваться<sup>1</sup>; уже в этом случае логическое мышление играет весьма важную роль. Предположим, что такой выбор уже сделан. Следующим этапом является наблюдение состояний системы. Наблюдаемые состояния системы должны каким-либо способом фиксироваться (в словах или предложениях естественного языка или же в какой-либо иной знаковой системе). При этом существенно важным является требование: знаковая система, в которой отображены состояния исследуемого объекта, должна быть вполне обозримой и изоморфной этому объекту.

Свойство, выражаемое понятием «быть обозримым», не поддается пока еще точному описанию или определению. Тем не менее с проникновением методов кибернетики в психологию и физиологию высшей нервной деятельности оно, безусловно, будет уточнено. Уже сейчас имеется ряд результатов по исследованию зрительного восприятия с точки зрения теории информации. Естественно, что понятие обозримости меняется в зависимости от того, какие вспомогательные средства используются человеком.

Понятие изоморфизма легче всего определить на языке теории множеств. Два множества называются изоморфными, если существует взаимно-однозначное соответствие между их элементами и если каждой операции над элементами одного множества взаимно-однозначно соответствует операция над элементами другого множества. В нашем случае под множеством нужно понимать множество состояний или свойств объекта, подлежащих исследованию (каждое отдельное состояние или свойство является элементом этого множества), а под операцией — изменение состояния или свойства.

На этом по сути дела познание системы на уровне явления заканчивается. Большого исследователь получить не может. Мало того, если система имеет конечное число состояний входов и выходов (положим  $a$  входов и  $b$  выходов), то можно точно определить, какое число наблюдений достаточно для полного исследования системы (это число равно  $a \cdot b$ ). В дальнейшем может оказаться, что такого знания недостаточно для

---

<sup>1</sup> Мы отвлекаемся в данном случае от вопроса, что заставило исследователя остановиться на изучении именно данных свойств, а не каких-либо иных.

раскрытия закономерностей системы, так как не все необходимые для исследования входы и выходы зафиксированы в знаковой системе, и требуется снова вернуться к изучению системы на уровне явления. Однако это не меняет дела, ибо принципиальная схема познания останется той же самой.

Необходимость отображения состояний устройства (системы) в знаковую систему диктуется следующими обстоятельствами. Всякий объект действительности не остается неизменным: он проходит определенную последовательность состояний, которые связаны между собой причинно-следственными отношениями, которые еще не известны исследователю.

Состояния входа и выхода в объекте разделены во времени. Установление связи между ними облегчается, если временные различия заменить пространственными с помощью какой-либо **знаковой системы**. Таким образом, если в объекте состояние в предшествующий момент времени и состояние в настоящее время не могут сосуществовать и быть наблюдаемы одновременно, в знаковой системе это оказывается возможным.

Знаковая система представляет в данном случае модель изучаемой системы. Такая модель обладает тем преимуществом, что в ней изучение интересующих нас свойств не затмевлено никакими побочными обстоятельствами. Создание модели исследуемого объекта представляет собой, следовательно, акт, завершающий познание явления и дающий начало для познания сущности.

Исследование модели рассматриваемого фрагмента действительности — акт, характеризующий абстрактное мышление. Абстрактность познания понимается в данном случае двояким образом. Во-первых, познание абстрактно в том смысле, что оно связано с изучением «рафинированной», «обедненной» действительности. Во-вторых, оно абстрактно и в том смысле, что после создания модели действительности исследователь может отвлекаться от смысла и значения модели, рассматривая ее как объект непосредственного исследования. (Такое понимание слова «абстрактный» согласуется с его обычным употреблением в смысле «отвлеченный».) Именно на ступени абстрактного мышления возможно познание закономерностей. Исследователь ищет в модели повторяемость состояний «черного ящика». Это теперь уже легче сделать, ибо временной процесс заменен в модели пространственной разверткой и повторяемость становится наглядно обозримой. Установление повторяемости во взаимоотношении свойств объекта и есть раскрытие некоторых закономерностей. Конечно, это такого рода закономерности, которые говорят о том, как ведет себя объект, но не отвечают на вопрос, почему он себя ведет так, а не иначе.

Понятие «черного ящика» обеспечивает нам в первую очередь *макроподход* к явлениям объективного мира и раскрытие закономерностей на макроуровне<sup>1</sup>.

Установление отношений между свойствами объекта является первым шагом в переходе от познания явления к познанию сущности. Отсутствие знания причинных отношений входов и выходов «черного ящика» не меняет положения вещей. Знание причинных отношений является более глубоким знанием о явлениях объективного мира, нежели простое установление координации и субординации свойств объекта, но уже и такое знание есть знание сущности — сущности первого порядка.

Насколько же достоверны наши знания о закономерностях функционирования «черного ящика»? Если бы макросвойства объекта никоим образом не зависели от его микроструктуры, то тогда наши знания, в пределах, допускаемых нашей абстракцией, обладали бы «абсолютной» достоверностью, а последовательность состояний объекта можно было бы рассматривать как цепь причинно-следственных изменений, не требующих никаких дополнительных объяснений. В действительности дело обстоит и так и не так. Так — в отношении к созданной исследователем модели действительности; не так — в отношении самого исследуемого объекта. В самом деле, создание модели действительного объекта, как мы уже отмечали выше, опирается лишь на фиксирование макросвойств и изменение макросостояний и совсем не касается его структуры. Поэтому когда на последующем этапе предметом исследования становится модель, то мы можем с полной уверенностью утверждать, что наше знание о предмете исследования, т. е. в этом случае о модели как объекте изучения, может носить вполне достоверный характер, так как в понятии этой модели зафиксированы лишь свойства, которые мы действительно знаем, а новые знания об этой модели могут теперь быть получены путем дедуктивного выведения логических следствий. В силу конечности числа зафиксированных в модели свойств знание о модели будет по необходимости ограниченным, но именно в силу этого завершенным.

Относительно самого исследуемого объекта действительности наше знание, выраженное в той или иной модели, никогда не может достигнуть полной завершенности. Объясняется это тем, что модель никогда не бывает полностью изоморфна

---

<sup>1</sup> Это отнюдь не означает, что понятие «черный ящик» вовсе исключает исследование структуры объекта и его микросвойств. Подробнее об этом см. ниже.

самому объекту. Два объекта, полностью изоморфных друг другу, не различимы между собой. Это значит, что при условии полного изоморфизма между объектом и моделью последняя перестает быть моделью и тем самым теряет свои познавательные функции. Модель — всегда упрощенный вариант исследуемого объекта. Относительно одного и то же объекта действительности могут быть созданы различные модели, отражающие те или иные его стороны, но не все сразу.

Понятие «черный ящик» позволяет с новой стороны подойти к философской проблеме соотношения относительной и абсолютной истины, доставляя новые аргументы как против релятивизма, так и против догматизма, абсолютизирующего наши знания.

\* \* \*

Охарактеризованный выше способ познания достаточно прост. Остановимся на несколько более сложных ситуациях, анализ которых позволяет углубить наше понимание ряда философских категорий.

Прежде всего в процессе познания возможна следующая ситуация. Исследуемый объект в результате внешнего воздействия проходит ряд состояний. При этом некоторые из состояний оказываются неповторимыми для данного объекта. Так, невозможно заставить растение или живой организм дважды пройти одну и ту же стадию развития, один и тот же кусок сахара нельзя дважды растворить в стакане чая и т. п. В своей практической деятельности мы постоянно сталкиваемся с такими объектами. И все же отсутствие повторяемости у данного объекта не является препятствием для познания его закономерностей, связи его свойств и состояний. Сущность не индивидуальна; она представляет собой то общее, что присуще целому ряду явлений. Поэтому то, что нельзя открыть и узнать в процессе изучения одного явления, становится доступным для изучения при рассмотрении серии явлений. Для понимания закономерностей действия паровой машины, отмечал Ф. Энгельс, достаточно изучить одну паровую машину, и если мы изучим их 100 или 1000, то от этого наши знания о ней не увеличатся. Для исследования же закономерностей развития языка необходимо сравнительное языкознание. Метод «черного ящика» позволяет по виду модели, представляющей исследуемый объект, судить о том, следует ли для познания данных закономерностей ограничиться исследованием одного объекта или же необходимо исследовать серию объектов.

До сих пор при анализе понятия «черный ящик» мы исходили из того, что исследователь имеет возможность наблюдать

все свойства и состояния, необходимые для познания закономерностей объекта. Такое предположение является, однако, очень сильным и в действительности реализуется чрезвычайно редко. Как правило, часть состояний и свойств объекта остается ненаблюдаемой. Возникает естественный вопрос: может ли исследователь, зная только часть свойств и состояний объекта, установить тем не менее (по крайней мере некоторые) закономерности макророведения?

Для того чтобы сделать вопрос более ясным, рассмотрим пример, который приводит У. Р. Эшби<sup>1</sup>. Пусть исследуется объект, состоящий из двух частей —  $A$  и  $B$ . На обе части объекта воздействует общий вход  $C$ . Кроме этого, обе части воздействуют друг на друга; поэтому для  $A$  входом является не только  $C$ , но и  $B$ , а для  $B$  — не только  $C$ , но и  $A$ . Часть  $A$  под воздействием своих входов проходит ряд состояний; обозначим одно из них через  $T$ . В состоянии  $T$  часть  $A$  находится, положим, лишь в том случае, если предварительно выполнены условия, что в одно и то же время  $C$  находится в состоянии  $c$ , а  $B$  — в состоянии  $b$ . Поскольку  $B$  имеет своим входом  $C$ , состояния  $B$  зависят от  $C$ . Предположим, что  $B$  находится в состоянии  $b$  при условии, что  $C$  перед этим находилось в состоянии  $y$ .<sup>2</sup> Исследователь, который имеет возможность наблюдать обе части системы, а также вход  $C$ , после анализа результатов наблюдений придет к заключению, что появление состояния  $T$  у части  $A$  однозначно определяется состоянием входа и состоянием  $B$ . Никаких дополнительных знаний не требуется. Иначе обстоит дело в случае, когда система представляет собой не полностью наблюдаемую систему. Если для наблюдения доступны лишь часть  $A$  и вход  $C$  ( $B$  не наблюдаемо), то по состоянию  $C$  в настоящий момент нельзя определить, перейдет ли  $A$  в состояние  $T$  или нет. Тем не менее положение не такое безвыходное, как может показаться с первого взгляда. Действительно, достаточно обратиться к истории «черного ящика», чтобы установить закономерность, определяющую появление состояния  $T$  у части системы  $A$ . Иначе говоря, для определения состояния части  $A$  недостаточно знать, каково состояние  $C$  в данный момент, но следует обратиться к его предшествующим состояниям. Наблюдение за системой, состоящей

---

<sup>1</sup> См. У. Р. Эшби, Введение в кибернетику, стр. 164—167.

<sup>2</sup> Все дальнейшие рассуждения имеют смысл лишь при условии, что система обладает однозначной детерминированностью, т. е. что состояние входа однозначно определяет состояние выхода. При исследовании стохастических объектов решение задачи несколько осложняется. В статье мы будем заниматься только однозначно детерминированными системами.

из *A* и *C*, покажет, что состояние *T* в системе *A* наступает в том случае, если состоянию *s* на входе предшествовало состояние *y*.

Таким образом, отсутствие полной наблюдаемости системы не является непреодолимым препятствием для познания закономерностей. Отсутствие полного знания о системе в данный момент компенсируется знанием ее «истории». Сама система ведет себя так, будто она обладает «памятью» относительно своего прошлого. Мы не можем согласиться с утверждением Р. Эшби, будто бы «память» не является чем-то объективным, что это всего-навсего лишь понятие, которое наблюдатель вводит, чтобы заполнить пустоту, образующуюся, когда часть системы недоступна наблюдению<sup>1</sup>. Поскольку существует причинная зависимость явлений действительности и поскольку состояние системы в настоящий момент причинно обусловлено его предшествующими состояниями, естественно рассматривать состояние системы в данный момент как некоторую «память» о предшествующих состояниях. Такое употребление термина «память» согласуется с его обычным употреблением. Следовательно, память не есть нечто навязанное объекту наблюдателем, а объективное свойство всякого объекта, поскольку он подчиняется закону причинно-следственной зависимости.

Приведенный выше пример интересен прежде всего тем, что он по-новому заставляет рассмотреть категории логического и исторического<sup>2</sup>.

Каковы те новые стороны этих категорий, раскрыть которые позволяет понятие «черный ящик»? Познание сущности — всегда процесс логический. Сущность вещи нельзя непосредственно, чувственно воспринимать. И тем не менее различают способы научного исследования — логический и исторический. Следовательно, под логическим в данном случае понимают нечто иное, нежели просто абстрактное мышление. Ведь несомненно, что и исторический способ исследования совершается на уровне абстрактного мышления, а не на чувственной ступени познания. Под логическим способом исследования понимают исследование какого-либо объекта исходя из знания его свойств, состояний и его отношений в некотором отрезке времени, отвлекаясь от его истории, его эволюции. Ответ на вопрос: «Достаточно ли такие средства исследования для познания закономерностей объекта?» — может быть дан лишь в ходе конкретного научного исследования. Так, И. Кеплеру для открытия

---

<sup>1</sup> См. У. Р. Эшби, Введение в кибернетику, стр. 167.

<sup>2</sup> Мы не будем останавливаться на характеристике этих категорий. Их анализ можно найти, например, в кн.: М. М. Розенталь, Принципы диалектической логики, М., 1960, а также в сборнике «Категории материалистической диалектики», М., 1957.

законов движения планет солнечной системы было вполне достаточно именно такого логического способа исследования. К. Марксу же для открытия законов капиталистического производства было необходимо использовать как логический, так и исторический методы исследования.

Анализ понятия «черный ящик» в кибернетике позволяет, как нам кажется, более точно ответить на вопрос, чем объясняется необходимость обращения к историческим методам исследования. Всякое явление объективной действительности обладает бесконечным числом свойств и вступает в бесконечное число отношений. Абстрагируясь от ряда свойств и фиксируя внимание лишь на некоторых из них, мы раскрываем закономерность связи путем логического анализа. Может оказаться, что ряд свойств исследуемой системы не может быть понят на основе наблюдаемых фактов. В таком случае исследователь предполагает, что имеются еще какие-то элементы и свойства у данной системы, познание которых может сделать наше знание более полным<sup>1</sup>. Однако ненаблюдаемость части системы или некоторых ее состояний может сделать невозможным такой путь исследования. В этом случае необходимо исследовать историю объекта, которая может восполнить пробел в нашем знании на данном уровне его развития<sup>2</sup>.

Таким образом, методологическое требование марксистско-ленинской философии рассматривать всякое явление действительности в его историческом развитии, с учетом того, чем явление было в прошлом и каковы тенденции его развития в будущем, не навязано произвольно науке, а является результатом учета специфических черт как объекта исследования, так и человеческого познания. В конечном итоге задача любой науки заключается в том, чтобы уметь предсказывать поведение изучаемой системы, будь то машина, живой организм, человек или же общество в целом. Предсказание поведения не полностью наблюдаемой системы (а именно с такими объектами мы, как правило, имеем дело в своей познавательной и

---

<sup>1</sup> Так, открытие планеты Нептун можно рассматривать как результат обнаружения неполноты исследуемой системы. Действительно, возмущения в движении планеты Уран не могли быть объяснены исходя из исследования известной части солнечной системы. Пришлось предположить, что данная система не полностью наблюдаема и что ее ненаблюдаемой частью является еще одна планета — Нептун.

<sup>2</sup> Иллюстрацией этого случая может служить вышеприведенный пример У. Р. Эшби. Действительно, если часть исследуемой системы (или часть ее свойств) не удается в силу каких-либо причин непосредственно исследовать (в примере Эшби ненаблюдаемо *B*), то наше знание восполняется за счет изучения истории наблюдаемой части, т. е. части *A*.

практической деятельности) возможно лишь благодаря обращению к ее истории. Знание истории прошлого позволяет из будущего смотреть на настоящее.

\* \* \*

Выше мы отмечали, что понятие «черный ящик» помогает нам в первую очередь выяснить некоторые стороны макроподхода к исследуемому явлению, а также установить некоторые особенности перехода от познания явления к познанию сущности. Однако познание сущности явления не ограничивается установлением закономерностей на макроуровне. «Мысль человека, — писал В. И. Ленин, — бесконечно углубляется от явления к сущности, от сущности первого, так сказать, порядка, к сущности второго порядка и т. д. *без конца*»<sup>1</sup>. Макросвойства и макросостояния явлений действительности зависят от микроструктуры объекта. Следовательно, продвижение познания от сущности первого порядка к сущности второго порядка означает в данном случае переход от изучения макросвойств к изучению зависимости макросвойств от микроструктуры, а следовательно, к знанию микроструктуры.

С первого взгляда может показаться, что метод «черного ящика» совершенно неприменим для исследования структуры объекта, так как «черный ящик», по определению, — это такое устройство, внутрь которого не может заглянуть экспериментатор. Однако это далеко не так. «...Сущность является. Явление существенно»<sup>2</sup>, — писал Ленин. Внешнее есть проявление внутреннего. Анализ понятия «черный ящик» помогает нам выяснить, какие средства необходимо применить для проникновения во внутреннюю структуру явления при условии, что мы можем наблюдать только внешние стороны исследуемого объекта. Это вполне естественная постановка вопроса, ибо в реальной действительности мы постоянно сталкиваемся с объектами, которые нельзя изучать иначе, чем опираясь на имеющийся уровень экспериментальной техники. Из числа возможных способов исследования микроструктуры, исходя из знания макросвойств объекта, мы остановимся лишь на использовании *аксиоматического метода*.

Не вдаваясь во все подробности построения аксиоматической системы и не претендуя на безукоризненную строгость и точность, остановимся на содержательном понимании аксиоматической системы. Аксиоматическая система (теория)

---

<sup>1</sup> В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 29, стр. 227.

<sup>2</sup> Там же.



строится следующим образом: 1) выбирается ряд понятий, которые принимаются за первоначальные и неопределяемые; все остальные понятия вводятся на основе первоначальных по правилам определения; 2) на основе выбранных понятий строится ряд утверждений — аксиом, которые принимаются за истинные; 3) формулируются правила вывода, по которым из одних утверждений можно получать новые утверждения и таким образом выводить логические следствия из имеющихся аксиом.

При исследовании объекта, представляющего собой «черный ящик», задача построения аксиоматической системы состоит в следующем. Наблюдаемые состояния объекта, связь состояний входа и выхода, закономерность переходов объекта из одного состояния в другое должны быть каким-либо образом формализованы (в целях формализации используют обычно различные логико-математические исчисления). Полученные в результате формализации выражения рассматриваются как некоторые следствия. Далее, задача заключается в том, чтобы найти такую систему аксиом и такие правила вывода, при помощи которых можно было бы получить известные нам следствия. Если такая система аксиом и правила вывода найдены, то структура «черного ящика» рассматривается в качестве интерпретации данной аксиоматической системы. При этом аксиомы системы можно рассматривать как утверждения относительно структуры объекта.

Так понятие «черный ящик» оказывается не только средством исследования макросвойств и макрорегулярностей изучаемого объекта, но и позволяет вскрыть его внутреннюю структуру. Однако здесь следует сделать ряд замечаний.

Прежде всего система аксиом, как правило, имеет не одну модель, являющуюся ее интерпретацией, а целый класс таких моделей, которые могут быть к тому же неизоморфными между собой. Следовательно, система аксиом, которой удовлетворяет исследуемый объект, не указывает однозначно на структуру этого объекта. В этом, конечно, проявляется некоторая ограниченность аксиоматического метода. Однако эта ограниченность компенсируется тем, что аксиоматическая система позволяет сразу исследовать целый класс явлений.

Далее, вне экспериментальной проверки наши знания о структуре объекта не могут быть признаны безусловно истинными. Аксиоматический подход к «черному ящику» есть лишь создание гипотезы о структуре, не больше. Действительно, одни и те же следствия можно получить не единственным путем из заданных аксиом. Мало того, различные системы аксиом могут приводить к одинаковым следствиям. В этом отношении

можно сослаться хотя бы на примеры из области геометрии. Аксиомы геометрии Эвклида отличны от аксиом геометрии Лобачевского. Однако те следствия, которые могут быть получены из аксиом так называемой абсолютной геометрии, будут одинаковы как в той, так и в другой геометрии. С подобного же рода обстоятельствами мы сталкиваемся и в различных логико-математических исчислениях, в которых из разных в некоторых своих частях систем аксиом получаются одинаковые следствия (например, в так называемом минимальном исчислении получаются следствия, которые можно получить в классической и конструктивной логике). Или другой пример. Для аксиоматической системы геометрии Эвклида принципиально безразлично, будет ли в качестве аксиомы фигурировать предложение о параллельных прямых или же предложение о сумме углов треугольника<sup>1</sup>.

При применении аксиоматического метода к объекту типа «черного ящика» замена подобного рода недопустима, ибо мы предполагаем, что система аксиом представляет его структуру. Таким образом, рассмотрение структуры «черного ящика» в качестве системы аксиом некоторой аксиоматической теории, а его состояния — в качестве следствий, получаемых по определенным правилам, дает нам не достоверное, а лишь гипотетическое знание. И все же это не умаляет значения аксиоматического подхода. Такой подход обеспечил в значительной мере те успехи, которые имеются в настоящее время в области нейрокибернетики, бионики<sup>2</sup> и т. д. И это не удивительно. Ведь гипотеза, как указывал Энгельс, является формой развития естествознания<sup>3</sup>.

Проблемы познания сущности и явления, анализ логического и исторического, выяснение роли и значения гипотезы в развитии научного знания — все это вовсе не новые вопросы философии. Однако они отнюдь не являются такими вопросами, которые можно решить раз и навсегда. Прогресс науки и практики ставит перед философией не только новые вопросы, но и выдвигает новые аспекты старых проблем. И в обоих этих отношениях кибернетика представляет большой интерес.

---

<sup>1</sup> Поэтому эти предложения и рассматриваются как эквивалентные, ведь из утверждения о параллельных получается как следствие теорема о сумме углов треугольника, и наоборот.

<sup>2</sup> В той ее части, которая исследует функционирование моделей нейронов и сетей нейронов.

<sup>3</sup> См. *К. Маркс и Ф. Энгельс*, Соч., т. 20, стр. 555.

Развитие работ по научной организации и управлению объектами на основе применения математических методов, кибернетики и вычислительной техники вызвало повышенный интерес к методологическим вопросам, к дальнейшей разработке и обоснованию основных понятий в этой области.

Одной из причин такого положения служит многообразие видов объектов и их закономерностей. Для иллюстрации можно назвать столь различные категории объектов исследования, как процессы познания (изучения) явлений в природе и обществе; процессы создания (разработки) новых изделий и систем с заданными свойствами; процессы обучения (передачи знаний и опыта) людей, взаимодействующих с коллективом и техническим оборудованием; процессы управления существующими объектами исходя из поставленной цели. Во всех случаях процессы выступают как последовательности изменений вещества, энергии и информации, протекающие в пространстве и времени. Потоки сигналов от процесса, смешанные с сигналами окружающей среды (помехами), в той или иной мере наблюдаются и истолковываются субъектом, принимая при этом форму внешней *информации* о процессе. Выявленные человеком закономерности в потоках информации отображают в некоторой степени законы протекания наблюдаемого процесса. Этот подход позволяет развить понятие информации как содержательного результата интерпретации, даваемой субъектом сигналам, которые он воспринимает от объекта. Для того чтобы хорошо управлять объектом исходя из принятой линии поведения (стратегии), необходимо достаточно глубоко изучить его структуру и закономерности, уметь предвидеть течение процесса исходя из его предыстории. Как анализ, так и прогнози-

рование основываются на знании причинных цепей событий, из которых складывается процесс. Эти соображения приводят к концепции причинных сетей<sup>1</sup> как структурной базе объектов, на основе которой происходит образование и переработка информации, отображающей процесс. Другими словами, представляется целесообразным формировать теорию причинных сетей как методологическую основу моделирования процессов и управления ими. Ниже рассматриваются некоторые вопросы, связанные с этой проблемой.

Как известно, причинно-следственные связи составляют одну из основных форм детерминации явлений материального мира<sup>2</sup>. Хотя пространственная смежность и временная последовательность причины и следствия не являются обязательными признаками причинно-следственной связи, можно допустить, что причине и следствию, как двум состояниям процесса, соответствуют, вообще говоря, различные координаты в пространстве и временные интервалы. Поэтому изучение процессов приводит к выявлению причинно-следственных связей, для которых пространство и время составляют естественные формы существования и развития. Этот подход предполагает, что переход от причины к следствию составляет односторонне направленный дискретный акт преобразования материального объекта (процесса) из одного состояния в другое.

Физические процессы, связанные с подобными преобразованиями, протекают с конечными скоростями; поэтому каждому акту преобразования соответствует некоторый интервал времени. Каждое состояние процесса можно характеризовать определяющими его координатами и интервалом (вектором) времени существования. Множество взаимосвязанных состояний и преобразований объекта образует его *причинную структуру*. Выявление причинной структуры объекта естественно вести в операционном (алгоритмическом) плане. При этом выделяется множество существенных состояний объекта, определяются закономерности элементарных преобразований, выявляется характер информационных связей в объекте, оцениваются временные интервалы преобразований.

Понятие *причинной сети* объекта целесообразно определить как описание причинной структуры этого объекта, выполненное на формализованном языке и отвечающее условиям полноты и однозначности. Такое описание представляет собой

---

<sup>1</sup> См. А. А. Марков, Что такое кибернетика? (настоящее издание).

<sup>2</sup> См. К. Маркс и Ф. Энгельс, Соч., т. 20, стр. 544—547; В. И. Ленин, Полн. собр. соч., т. 18, стр. 157—175, 181—195; см. также М. Бунге, Причинность, М., 1962, стр. 141—398.

известную абстракцию и включает в себя лишь существенные черты и характеристики объекта. Конкретную причинную сеть объекта следует рассматривать как один из образов действительной структуры объекта, соответствующий достигнутому уровню знаний, поставленной цели и принятым средствам формализации. Элементом причинной сети является узел, имеющий информационные входы и выходы и осуществляющий преобразование информации.

Входы узла определяются множеством входных переменных, их обозначением, координатами (адресами для чтения), описанием вида переменных. Оператор узла определяется обозначением и координатами узла, описанием характера преобразования в узле, указанием временного интервала, затрачиваемого на преобразование в узле. Выходы узла определяются множеством выходных переменных, их обозначением, координатами (адресами для записи), описанием вида переменных. Логический переход узла определяется описанием логической функции, составляющей условие перехода к другим узлам сети, обозначениями (координатами) других узлов, переход к которым происходит при выполнении и при невыполнении условия. Причинная сеть задается множеством узлов, описанных единым формализованным языком.

Изложенные правила позволяют каждому алгоритму (путем его доопределения) поставить в соответствие причинную сеть на формализованном языке того же вида, которым выражен этот алгоритм. Следующий пример показывает одну из возможных форм описания узла на языке вида Алгол-60<sup>1</sup>.

```
L 0: procedure IN (x, y, z, h, e); adr a [1:5]; delay t 1;
      go to L 1;
end IN;

L 1: procedure HA (x, y, h, e, gx, gy); real x, h, gx;
      array y, gy; adr a [1:4], b [1:n]; delay t 2;
      begin A1; A2; A3;
            if B then go to L2 else go to L3, L4;
      end HA.
```

На этой схеме показаны два узла сети, обозначенных метками *L0* и *L1*. Из них первый — узел ввода значений перемен-

---

<sup>1</sup> Об этом языке см. *М. И. Агеев*, Основы алгоритмического языка Алгол-60, М., Издание Вычислительного центра АН СССР, 1964.

ных по заданным адресам памяти. Узел *L1* выполняет процедуру *HA*, включающую арифметические операторы *A1*, *A2*, *A3* и логический оператор *B*. Новые для Алгола-60 служебные слова обозначают: **adr** — адреса, **delay** — временное запаздывание в узле. Выражение **go to L2** отображает канал связи, идущий с выхода узла *L1* на вход узла *L2*. Доопределение алгоритмов аналогичным путем возможно осуществить для различных форм алгоритмов и, по-видимому, вплоть до наиболее общих форм их задания (например, предложенных А. Н. Колмогоровым и В. А. Успенским).

На языке временных логических функций<sup>1</sup> причинная сеть изображается в линейной записи системой тождественных логических равенств, определяющих в явной форме одни логические переменные в качестве временных логических функций от других переменных. Другой формой задания причинной сети может служить табличная форма, в которой служебные слова вынесены из описания узлов и расположены в определенном порядке в заголовке таблицы, а каждая строка таблицы дает полную информацию об узле сети.

Причинная сеть может ассоциироваться с направленным графом, вершины которого составляют узлы сети, а ребра отображают каналы связи для передачи определенного вида информации от выходов одних узлов к входам других. Известными примерами причинных сетей, выраженных в графической форме, служат нейронные сети с пороговыми элементами, временные логические сети, марковские сети и др.<sup>2</sup> (предполагается, что эти сети доопределены так, что содержат полную информацию об узлах).

Если язык, на котором описывается сеть, предполагает организованное хранение информации в памяти внешней по отношению к сети, то ребра графа могут показывать переходы действия (управления) от одних узлов к другим и отмечаются соответствующими логическими переменными. При протекании в такой сети процесса (мысленного эксперимента) переработка информации может одновременно происходить в одном, нескольких, либо во всех узлах сети. Первый из этих случаев приводит к общепринятой концепции абстрактного

---

<sup>1</sup> См. А. Беркс, Дж. Райт, Теория логических сетей, «Кибернетический сборник» № 4, 1962; Ю. Я. Базилевский, Вопросы теории временных логических функций, «Вопросы теории математических машин», сб. 1, М., 1958, стр. 9—37.

<sup>2</sup> S. Gorn, Specification Languages for Mechanical Languages and their Processors, «Communications of the ACM», vol. 4, N 2, 1961, p. 532; L. Lombardi, Mathematical Structure of Nonarithmetical Data Processing Procedures, «Journal of the ACM», vol. 9, N 1, 1962, p. 136—159.

автомата<sup>1</sup>. В последнем случае сеть не содержит замкнутых путей и может быть названа линейной.

Другими графическими разновидностями причинных сетей служат: автоматные сети, в которых вершины графа ассоциируются с состоянием автомата, а ребра отмечаются функциями переходов; событийные сети, в которых вершины графа обозначаются событиями, а ребра — преобразованиями (работами).

Заметим, что конкретные теории в какой-либо области науки сами по себе еще не являются причинными сетями, но могут порождать причинные сети различных видов. К таким видам принадлежат причинные сети образования понятий в этой теории; причинные сети доказательств теорем; причинные сети процессов, описываемых данной теорией. Особый интерес представляет разработка методов построения причинных сетей, формирующих важную категорию понятий, которые можно назвать *регулярными понятиями*. Изложение этого вопроса выходит за рамки данной статьи.

При изучении процессов в причинных структурах и сетях существенным становится вопрос о временной базе. Как известно, в природе, физике и технике, а также в логике и математике время составляет метрическую основу для выражения последовательности событий, хотя это не всегда проявляется в явной форме. Рассматривая материальные либо гипотетические процессы в различных областях, мы используем форму времени, адекватную этим конкретным процессам. Для периодических процессов, возникающих при одних условиях и прекращающихся при других, можно говорить о периоде существования локального времени и представлять его в векторной форме. В абстрактных процессах используются условные временные системы со специфическими характеристиками для различных логических типов процессов; такого рода временную систему можно назвать *метавременем* соответствующего процесса.

Выбор системы времени предполагает привязку отсчета времени (условного наблюдателя) к конкретной точке структуры (сети) изучаемого объекта, определение начала отсчета, дискретности и масштаба времени. Сопоставление поведения двух либо нескольких процессов возможно лишь на основе соизмеримых временных систем рассматриваемых объектов. Соизмеримость двух временных систем означает задание однозначного преобразования, связанного с изменением начала

---

<sup>1</sup> См. В. М. Глушков, Синтез цифровых автоматов, М., 1962, стр. 36—150.

отсчета, дискретности и масштаба при переходе от одной системы к другой. Поскольку текущие состояния объектов естественным путем определяются в зависимости от их состояний в предшествующие моменты времени, то для описания процессов удобно использовать в качестве начала отсчета связанный с объектом текущий момент времени (непрерывного или дискретного). Мы приходим к *эгоцентрическим временным системам*, адекватным задачам изучения процессов в самом их протекании.

В природе все процессы происходят во времени и с конечными скоростями, поэтому многие физические явления можно использовать для введения нормированного запаздывания в сигналы, несущие информацию. Это обстоятельство составляет физическую предпосылку для реализации операторов временной задержки (запаздывания) как с постоянными, так и с переменными параметрами сдвига. Элементы с подобными функциями широко применяются в вычислительной технике. Напомним<sup>1</sup>, что вполне установлена возможность построения с помощью элемента временного сдвига и булевых элементов запоминающих устройств с любой заданной логической структурой. В эгоцентрической временной системе предыстория процесса, происходящего в причинной сети, известная за конечный промежуток времени в прошлом, обзревается с помощью «задержек времени», физически реализуемых в упомянутых элементах временного сдвига либо в элементах памяти.

Проведенный анализ показывает, что имеются достаточные методологические и физические основания для введения в логику и математику отношения временного сдвига в качестве одного из фундаментальных отношений для конструирования структур и описания протекающих в них процессов.

Отношение временного сдвига в символической форме можно представить<sup>2</sup> оператором  $D[t, p]x$ , где  $D$  — символ отношения сдвига;  $t$  — обозначение временной системы, в которой происходит сдвиг;  $p$  — параметр сдвига, который может быть постоянным числом, либо булевой переменной, либо переменным числом с заданной областью определения;  $x$  — переменная произвольного вида, к которой применен оператор временного сдвига. Как уже упоминалось, оператор временного сдвига позво-

---

<sup>1</sup> См. Ю. Я. Базилевский, О структуре запоминающих устройств, «Вопросы теории математических машин», сб. 1.

<sup>2</sup> См. Ю. Я. Базилевский, Вопросы теории временных логических функций, «Вопросы теории математических машин», сб. 1.



ляет строить причинные сети с существенными временными запаздываниями и различными видами памяти.

Существенным свойством оператора временного сдвига является коммутативность его с другими логическими и арифметическими операторами. Это обстоятельство позволяет преобразовывать описание временной причинной сети, перенося отсчет времени от одной к другим точкам сети путем изменения на соответствующую величину параметров временного сдвига у операторов, участвующих в описании. При таком преобразовании системы времени сети могут образовываться отрицательные параметры временных сдвигов, обозначающие упреждение событий в некоторых точках сети относительно предшествующих точек той же сети. Получаемое таким образом обобщение понятия временного сдвига на область действительных значений параметров сдвига позволяет выполнять преобразования временных систем для широкого класса причинных сетей.

Заметим, что понятия *регулярное событие* и *представимость событий в сетях*, детально разработанные для области абстрактных автоматов, могут быть обобщены на случай различных категорий причинных сетей<sup>1</sup>. Анализ представимости событий в заданной причинной сети сводится в основном к определению последовательности событий во входных каналах этой сети в предшествующие моменты времени, приводящей в текущий момент времени к заданному конкретному значению переменной в выбранной точке сети.

В причинной сети, рассматриваемой как направленный граф, можно ввести *отношение следования*: точка (канал), связанная с выходом данного узла, следует за точкой (каналом), связанной со входом того же узла. Отношение следования частично упорядочивает множество точек сети, выделяя в ней направленные пути (траектории). Пути в сети могут содержать петли и точки ветвления. Каждой точке сети можно поставить в соответствие множество путей, приводящих к этой точке.

Из теории логических сетей известно<sup>2</sup>, что подсеть с замкнутым путем, имеющим суммарный параметр временного сдвига, равный нулю, обладает свойством неопределенности состояний. Это явление не имеет места в причинных структурах и правильно построенных причинных сетях. В самом деле,

---

<sup>1</sup> См. В. М. Глушков, Синтез цифровых автоматов, стр. 69—78; I. M. Copi, C. Elgot, I. B. Wright, Realisation of Events by Logical Nets, «Journal of the ACM», vol. 5, N 2, p. 181—196.

<sup>2</sup> См. А. Беркс, Дж. Райт, Теория логических сетей, «Кибернетический сборник» № 4, 1962.

каждое преобразование в узле требует затраты конечного и отличного от нуля промежутка времени, поэтому суммарный параметр временного сдвига любого непустого замкнутого пути в сети всегда отличен от нуля. Однако в некоторых случаях величина этого суммарного параметра может быть настолько малой по сравнению с тактом полезного процесса в сети, что явления в рассматриваемом участке сети, оставаясь детерминированными, могут нарушать при известных условиях целесообразное течение процесса. В таких случаях полезно устанавливать нижнюю границу для допустимого значения суммарного параметра сдвига для каждой петли в сети.

Допустим, что в рассматриваемой сети задано некоторое множество точек, определенных как существенные для поставленной цели. Выделяя все пути в сети, приводящие к точкам этого множества, мы получим существенную подсеть, вполне определяющую процессы в выбранных существенных точках. Присоединение выхода одного узла к входу другого узла сети равносильно подстановке оператора первого узла вместо соответствующих переменных второго узла. Поэтому можно составить описание причинных функций для существенных точек сети, причем в этом описании промежуточные (несущественные) переменные могут быть в той или иной мере исключены. Изучение свойств причинных функций для различных категорий причинных сетей составляет одну из задач теории причинных сетей. К этой же области относится и задача отыскания методов равносильных преобразований сетей, при которых свойства причинных функций для существенных точек сети остаются инвариантными.

Одним из общих подходов к раскрытию задач последнего вида может быть метод формирования и вариационного решения причинного уравнения для существенной подсети. Идею этого метода поясним на примере временной логической сети в дискретном времени<sup>1</sup>, в которой в качестве операторов используются такие отношения, как отрицание, конъюнкция, дизъюнкция и временной сдвиг. Сеть на этом языке описывается, как упоминалось выше, системой тождественных равенств, соединяющих выходные переменные с входными переменными каждого узла. Обобщенное уравнение сети образуется из системы равенств путем применения двух приемов: а) тождественный перенос членов каждого равенства в левую сторону, так что в правой стороне остается константа 0 (ложь), при этом образуются частные уравнения каждого узла; б) объ-

---

<sup>1</sup> См. *Ю. Я. Базилевский*, Преобразование и решение логических уравнений, «Вопросы теории математических машин», сб. 2, 1962.

единение системы частных уравнений в одно общее уравнение так, что в правой части остается константа 0, а левая часть после эквивалентных преобразований принимает вид нормального дизъюнктивного полинома. В полученном уравнении все переменные становятся равноправными, однако все они связаны в том смысле, что области определения каждой из переменных должны выбираться таким образом, чтобы уравнение удовлетворялось.

Для решения найденного уравнения исследователь должен выбрать линию поведения (стратегию), которая может заключаться, например, в установлении некоторого правила предпочтения одних переменных другим, используемого при исключении неопределенности, заложенной в уравнении. Иными словами (и в этом суть стратегии), мы строим априорный причинный ряд переменных и полагаем, что напереди стоящую переменную этого ряда полагаются наименьшие ограничения: она наиболее независима, «свободна». После исключения этой переменной из уравнения следующая за ней переменная причинного ряда становится наиболее свободной и т. д. При таком порядке решения на последнюю переменную этого ряда будут наложены, вообще говоря, наиболее сильные ограничения: она наиболее зависима, связана.

Степень независимости решения уравнения от того или иного порядка следования переменных в процессе решения определяется в ходе исследования конкретной задачи. Результаты такого исследования дают материал для построения апостериорного причинного ряда переменных. Для каждого «причинного уровня» такой апостериорный ряд устанавливает множество переменных, взаимная перестановка которых не влияет на результат решения.

Решение временного логического уравнения распадается на три этапа. Первый этап: выполняется «временное сжатие» уравнения, приводящее полином в левой части уравнения в некоторую минимальную форму относительно входящих операторов временного сдвига. Второй этап: последовательное образование частных уравнений для каждой переменной в порядке, заданном априорным причинным рядом. Третий этап: получение решения каждого частного уравнения в виде логических неравенств для каждой из переменных. В результате решения образуется система логических неравенств, каждое из которых определяет минимально и максимально возможный состав термов, из которых в свою очередь могут складываться функции для переменных.

При выборе различных априорных причинных рядов переменных, вообще говоря, изменяется состав подмножества пере-

менных, которые являются свободными (аргументами). Образуются множества специфических логических сетей, характеризующих различные семейства решений исходного уравнения. Следуя по указанному выше пути, возможно построить множество сетей, для которых переменные, приписанные к существенным точкам первоначальной сети, будут стоять в конце априорного причинного ряда, т. е. будут в наибольшей степени связанными. Таким образом, возникает возможность анализа и равносильных преобразований заданных существенных подсетей.

Имеются некоторые основания полагать, что описанный выше подход к образованию и решению обобщенного логического уравнения, характеризующего некоторые инвариантные свойства множества сетей, может быть перенесен на случай многозначных логических сетей и логических сетей в непрерывном времени. Эти вопросы еще не достаточно разработаны.

Концепция причинных сетей позволяет построить методологические предпосылки для моделирования процессов. Переход от объекта исследования к причинной сети как его образу представляет собой некоторый процесс абстракции, выделения причинных соотношений в явной форме и носит семантический характер. Такой процесс предполагает некоторое соглашение, включающее в себя сумму содержательных положений, которые в первом приближении можно представить себе следующим образом.

Элементами соглашения служат: рабочая физическая гипотеза для объекта; способ математического описания его закономерностей и численные методы решения задач, связанных с объектом; способ выделения множества событий и состояний объекта, существенных для поставленной исследователем цели; преобразования материи, энергии и информации, вскрывающие причинно-следственные связи и причинную структуру объекта; конкретные виды источников информации об объекте и физические величины, формирующие эту информацию; определенные масштабы и формы кодирования, обеспечивающие однозначное толкование количественных значений упомянутых физических величин. Наконец, в это соглашение должны быть включены синтаксис и семантика формализованного языка, используемого для описания структуры объекта и происходящих в нем процессов в виде причинных сетей.

Совокупность описанных выше допущений составляет условие (будем называть его *к о н в е н ц и е й*), позволяющее получить однозначное отображение объекта в его причинную сеть.

Будем рассматривать подобный переход от объекта к его причинной сети как определенное семантическое преобразование объекта, а конвенцию, обеспечивающую определенность такого преобразования, будем именовать (прямым) *семантическим оператором*.

Конкретному семантическому оператору соответствует некоторое множество «однородных» объектов (например, видов машин или технологических процессов), составляющее область применения оператора. Этим оператором определен также класс однородных причинных сетей (например, доопределенных алгоритмов алгольного типа). Представим себе узел причинной сети (более высокого типа), реализующий заданный семантический оператор. Тогда переменная, приписанная входному каналу этого узла, будет иметь в качестве своих значений различные объекты из области применения семантического оператора. Переменная, связанная с выходным каналом того же узла, будет иметь в качестве своих значений конкретные причинные сети объектов.

Та же конвенция дает возможность определить и обратный семантический оператор, который, будучи применен к причинной сети введенного класса, образует соответствующие причинные структуры объектов. Правильно построенная причинная сеть является формальной структурой и потому допускает различные содержательные интерпретации и отображения с помощью разнообразных физических средств. Другими словами, для определенного класса причинных сетей можно построить различные (обратные) семантические операторы и с их помощью получить соответствующие классы физических отображений причинных сетей в виде структур материальных объектов.

Далее, отображение определенного класса объектов в заданный класс причинных сетей может быть получено с помощью различных (прямых) семантических операторов, отражающих задачи исследования и достигнутый уровень изученности объектов. Поэтому две причинные сети данного класса, отображающие один и тот же объект с помощью различных семантических операторов, могут в различной степени выражать организацию, закономерности и существенные свойства объекта. Между такими двумя сетями, вообще говоря, отсутствует отношение подобия.

С другой стороны, для заданного класса причинных сетей с помощью различных (обратных) семантических операторов могут быть получены разнообразные физические отображения (объекты), причинные структуры которых соответствуют общей для них причинной сети. Поэтому мы будем говорить,

что два объекта, отображающие в указанном смысле одну и ту же причинную сеть, находятся в модельном отношении и друг к другу; каждый из них является моделью другого. Причинная сеть, которую отображают эти два объекта, служит для них общей мерой. Отображение одного материального объекта в другой через причинную сеть составляет существо модельного преобразования.

Таким образом, изложенный подход позволяет разработать и методологически обосновать концепцию моделирования как процесс изучения свойств и характеристик объекта путем исследования процессов в модели этого объекта (как она определена выше).

Практическая разработка систем моделирования включает три существенных этапа: разработка теории информационных процессов для опорного класса причинных сетей; изучение и формирование множества прямых семантических операторов, отображающих практически важные классы объектов в опорный класс причинных сетей; разработка класса объектов (моделей), реализующих опорный класс сетей. Обычно к моделям предъявляется ряд специфических требований, способствующих использованию моделей как средств исследований. К таким требованиям относятся: информационная емкость и быстрдействие; точность, воспроизводимость и устойчивость процессов; удобство визуального наблюдения процессов; надежность и быстрота перестройки для отображения различных сетей. Уместно здесь напомнить, сколь мощными и универсальными моделями (в указанном выше смысле) являются электронные цифровые программные вычислительные машины.

Между двумя классами причинных сетей можно ввести *отношение подобия* (или модельное отношение второго рода) следующим путем. Введем некоторую конвенцию для однозначного отображения причинной сети одного класса в причинную сеть другого класса путем задания следующих элементов: изменения наименования и координат информации (переменных); изменения наименований и координат узлов сети; разбиение либо объединение операторов узлов; изменение весовых функций, пространственно-временных кодов и форм представления логических и других математических величин; изменения системы времени; замена синтаксиса и семантики одного языка на синтаксис и семантику другого формализованного языка и установление между ними однозначного соответствия.

Подобная конвенция позволяет определить два сопряженных семантических оператора, осуществляющих прямое преоб-

разование причинных сетей первого класса в соответствующие сети второго класса, а также обратное преобразование.

Заметим, что в отличие от рассмотренных выше модельных преобразований (первого рода) одного материального объекта в другой модельные преобразования (второго рода) причинных сетей одного класса в причинные сети другого класса могут быть алгоритмически описаны и потому допускают представление в виде причинной сети более высокого логического типа.

Примером модельного отображения второго рода может служить преобразование алгоритмов с Алгола-60 на машинно-ориентированный язык с одновременным приведением алгоритма к такой оптимальной форме, которая в лучшей степени использует структуру и вычислительные возможности цифровой машины. Подобное преобразование задается алгоритмом программы-транслятора и осуществляется автоматически вычислительной машиной.

В названии этой статьи люди и автоматы фигурируют на равных началах. Но в ее тексте процессы обучения людей рассматриваются лишь постольку, поскольку они представляют интерес для конструктора новых типов автоматов. Почему вообще специалисту по автоматике полезно изучать процессы обучения людей? Ответ на этот вопрос дает кибернетика — наука, которая на протяжении последних лет связала самые различные специальности, создала возможность взаимного оплодотворения различных областей знания. По остроумному замечанию профессора А. Е. Кобринского, кибернетика — это такая наука, в которой физиолог обучает инженера, как строить автомат, а инженер обучает физиолога устройству нервной системы. К этому можно было бы еще многое добавить, например, что оба они обучают экономиста закономерностям экономических структур. Что касается экономиста, то он пока еще, кажется, не обучает других специалистов, но, будем надеяться, вскоре начнет обучать.

К списку дисциплин, между которыми кибернетика установила контакт, можно добавить еще психологию, педагогику, лингвистику и т. д. Связь между ними устанавливается, в силу того что во всех указанных выше дисциплинах важную роль играют процессы получения, передачи и переработки информации. Основным постулатом кибернетики является принцип единства этих процессов, где бы они ни происходили — в машинах, живых организмах или системах, состоящих из связанных друг с другом машин и организмов. Поэтому изучение таких процессов в нервной системе обучающегося человека или животного может оказаться чрезвычайно полезным при создании новых типов обучающихся автоматов.



История обучения в школах различного типа насчитывает несколько тысячелетий. В течение тысячелетий многие учителя размышляли не только над тем, чему учить, но и над тем, как учить. Тем не менее даже и сегодня высокое качество обучения обеспечивается подчас не столько научной организацией преподавания, сколько интуицией и опытом преподавателя. Еще в недалеком прошлом такое положение дел не вызывало значительных затруднений. Ситуация достаточно хорошо характеризовалась фразой, брошенной английским ученым О. Хивисайдом, правда по совсем другому поводу: «Чтобы насладиться хорошим обедом, не нужно знать законы пищеварения». Однако сейчас в этой области назревают радикальные изменения. Дело не только в том, что подробное исследование законов «интеллектуального пищеварения» нужно автоматизировать. Само по себе обучение людей нуждается теперь в коренных усовершенствованиях, но последний вопрос не входит в тему данной статьи.

Представляется полезным хотя бы предварительный обзор проблемы обучения, посвященный некоторым основным понятиям и общим вопросам этой новой области.

## 1. Процессы обучения людей

### *Понятие процесса обучения*

Обучение представляет собой весьма широкое понятие, трактуемое как в психологии, так и в педагогике; специальный раздел педагогики — дидактика — посвящен обучению. В более узком смысле слова — в плане образования условных рефлексов — понятие обучения рассматривается также в физиологии. Оно имеет отношение и к гносеологии. В ряде источников, относящихся к этим областям науки, обучение в сущности определяется сходным путем как особая, частная форма познания. Например, в книге И. Т. Огородникова и П. Н. Шимбирева «Педагогика» указано: «Такой же путь, как и путь познания, проходит ученик в обучении. Познание ученика начинается с восприятия изучаемых явлений и предметов, вслед за тем чувственные восприятия перерабатываются в сознании, в результате чего у него складываются определенные научные понятия. Одновременно и вслед за этим эти познания закрепляются в навыках и получают применение в жизни»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> И. Т. Огородников и П. Н. Шимбирев, Педагогика, М., 1950, стр. 101.

Однако не следует отождествлять обучение с познанием. Действительно, обучение характеризуется следующими ограничивающими чертами:

1. Обучение имеет индивидуальный характер. Понятие обучения — это понятие, применяемое к процессу познания, совершаемому индивидом, и не применяемое ко всему человечеству в целом. В то же время более общее понятие познания есть выражение коллективного процесса, относящегося в широком смысле ко всему человечеству.

2. Обучение имеет не вполне самостоятельный характер. При обучении имеет место взаимодействие обучаемого и обучающего. Даже при так называемом самообучении процесс обучения происходит, например, с помощью книг, телевизора, магнитофона. Таким образом, это по существу обучение одних лиц другими, но через посредство промежуточных устройств. Даже такие виды самообучения, которые на первый взгляд кажутся вполне самостоятельными (например, самообучение при катании на коньках), включают в себя подражание умеющим кататься, ассоциации с ранее освоенными под воздействием учителей процессами; часто они сочетаются с обучением (если обучаемый учитывает советы других лиц). Вообще при всяком обучении в какой-то мере происходит воздействие других лиц на обучаемого. Обучающийся индивидум в той или иной мере черпает познания из гигантского аккумулятора сведений, имеющегося в коллективном распоряжении человечества. Эти сведения накоплены за много веков в различных формах — в виде книг, устных преданий, норм и обычаев жизни, произведений искусства и т. д. Обучение, и особенно на начальных стадиях, есть в значительной мере овладение уже накопленным готовым опытом людей.

Итак, обучение предполагает в известной мере участие обучающего в процессе обучения. Между тем в общем процессе познания, осуществляемом человеческим коллективом, обучающий отсутствует.

3. Обучение ограничено познанием лишь определенных областей реальной действительности, в то время как процесс познания безграничен. Так как процесс обучения носит индивидуальный характер, он обязательно ограничен временными рамками, а также потребностями и возможностями индивидуумов — обучающего и обучаемого — и в конечном итоге характером эпохи и уровнем ее общественного строя.

Итак, обучение есть особая, частная форма процесса познания, индивидуальная, не вполне самостоятельная и ограниченная.

## *Цель процесса обучения*

В вопросе о целях обучения формулировки несколько расходятся. Некоторые считают, что главная задача обучения состоит в накоплении определенной совокупности знаний; другие полагают, что основное для обучаемого — научиться самостоятельно наблюдать, мыслить и эффективно действовать, т. е. развивать свои способности. С. Л. Рубинштейн считает, что обе эти задачи нельзя отрывать друг от друга<sup>1</sup>. Обучая, нужно развивать способности учащегося, но также и способствовать накоплению у него определенных фактических знаний. Эта точка зрения правильна, так как в конечном итоге обе указанные выше задачи являются лишь подцелями. Основная и общая цель обучения состоит в приобретении умения и навыков успешного взаимодействия человека с той средой, в которой он живет. Для этого требуется как приобретение знаний, так и развитие способностей. Однако второе для человека в общем гораздо важнее, чем первое.

Развитие способностей предполагает выработку таких качеств, как:

1) изобретательность, оригинальность, инициатива, фантазия; эти качества необходимы, чтобы уметь вообразить самые различные гипотетические пути, ведущие к цели (например, к решению задачи);

2) проницательность, интуиция, здравый смысл, опыт, память; обладая этими качествами, можно из открывающегося множества путей решения задачи выбрать те из них, которые с наибольшей вероятностью ведут к цели;

3) последовательность, логичность, методичность — эти качества необходимы для того, чтобы наметить план решения, поставить промежуточные цели и расчленив тем самым сложную задачу на последовательность более простых. Разработка плана решения — это построение гипотетической структуры процесса решения. Проверка действием обнаружит, реальна ли эта структура или же она не соответствует реальности, т. е. таким путем не удастся решить задачу.

Комбинация указанных качеств создает манеру поведения, характерную для квалифицированного специалиста и творческого работника.

Таким образом, обучаемого следует рассматривать не в качестве некоего сосуда, пассивно наполняемого знанием, а как

---

<sup>1</sup> См. С. Л. Рубинштейн, Основы общей психологии, М., 1940, стр. 501—502.

организм, свойства, качество, характеристики которого нужно изменять в целесообразном направлении путем обучения.

А. Н. Леонтьев определяет процесс обучения как «процесс приобретения живым существом индивидуального опыта поведения»<sup>1</sup>. Обучение универсально: оно существует всюду, где есть приспособление к новым условиям в форме изменения поведения.

Накопление знаний играет в процессе обучения немалую, но отнюдь не решающую роль. Человек может забыть многие конкретные факты, на базе которых совершенствовались его качества. Но если они достигли высокого уровня, то человек справится со сложнейшими задачами, а это и означает, что он достиг высокого уровня культуры. Это обстоятельство в полупутильной форме характеризует известное изречение: «Образование есть то, что остается, когда все выученное уже забыто»<sup>2</sup>.

Чем шире и глубже познаваемая область, чем более высоким должен быть уровень обучения, тем большим должен быть удельный вес творческих способностей в обучении. Именно таким образом достигается конечная цель обучения, заключающаяся в познании как определенных областей действительности, так и способов воздействия на нее в целесообразном для человека направлении.

### *Структура процесса обучения*

Процессы обучения можно рассматривать с различных точек зрения.

1. Можно изучать связи внешнего характера между обучающим, обучаемым и предметом обучения, не вникая во внутренние процессы.

2. Можно рассматривать внутренние процессы, происходящие в обучаемом, с физиологической или психологической точек зрения.

3. Можно изучать всю совокупность процессов и связей между внешними воздействиями и внутренними процессами. Такое рассмотрение, являясь наиболее полным, позволяет глубже всего выяснить сущность процессов познания и обучения.

Начнем с первой из этих точек зрения. Простейший на первый взгляд момент обучения — это передача информации от обучающего к обучаемому. На рис. 1 представлена схема

---

<sup>1</sup> А. Н. Леонтьев, Обучение как проблема психологии, «Вопросы психологии» № 1, 1957, стр. 3.

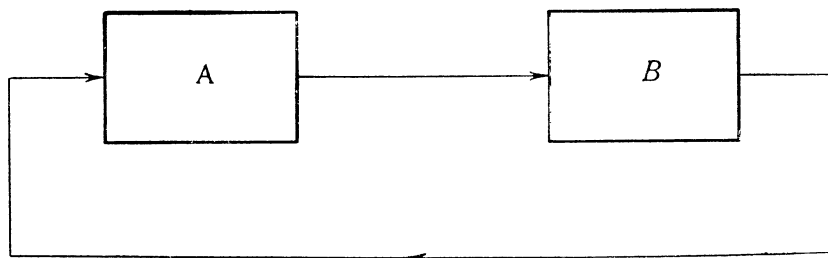
<sup>2</sup> М. Лауэ, Мой творческий путь в физике, «История физики», М., 1956, стр. 169.

обучения, на которой обучающий обозначен буквой *A*, а обучаемый — буквой *B*; стрелкой показано воздействие обучающего на обучаемого. Можно ли рассматривать схему, изображенную на рис. 1, как простейшую и основную схему при обучении? Существуют серьезные основания для отрицательного ответа на этот вопрос. Обучение нельзя рассматривать как односторонний



Р и с. 1.

процесс передачи сведений от учителя к ученику. Это обстоятельство неоднократно подчеркивалось в психологической литературе. С. Л. Рубинштейн, например, указывал на то, что обучение есть двусторонний процесс передачи и усвоения знаний. Это единый процесс, включающий и учителя (обучающего), и ученика (обучаемого), объединенных определенными взаимоотношениями. При этом обучение не есть пассивное восприятие. В обучении необходима определенная активность со стороны обучаемого. Это не только прием передаваемых учителем знаний, а их активное усвоение<sup>1</sup>.

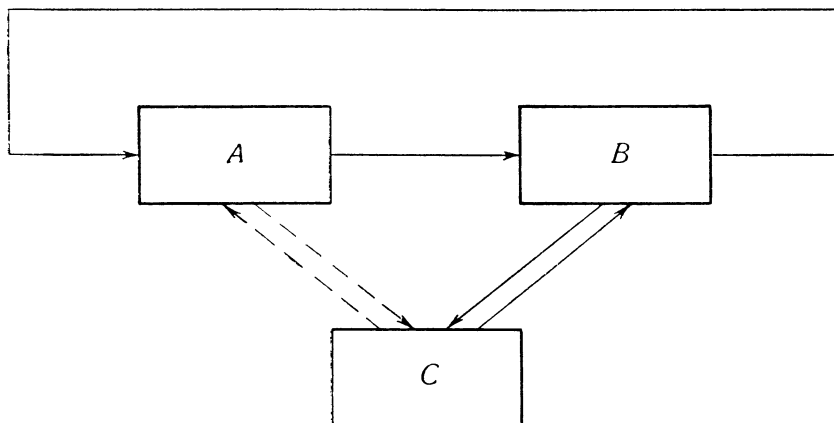


Р и с. 2.

Действительно, наличие обратной связи, идущей от *B* к *A*, неизбежно (см. рис. 2). Учитель контролирует ученика, выясняя степень усвоения материала по ответам ученика на вопросы. Ученик задает вопросы учителю при наличии неясностей и недоразумений.

<sup>1</sup> См. С. Л. Рубинштейн, Основы общей психологии, стр. 500.

Однако и схема, изображенная на рис. 2, еще не достаточно полна. Более полная схема, включающая и объект обучения  $C$ , представлена на рис. 3. Обучение невозможно без той или иной формы связи с объектом обучения. Обучающий  $A$  сам должен предварительно ознакомиться с объектом обучения, на что на рис. 3 указывают пунктирные линии. Изучение объекта происходит в общем случае путем оказаний воздействий на объект и восприятия реакций объекта на эти воздействия. Поэтому воздействия поступают как на объект  $C$  со стороны обучающего  $A$ , так и к обучающему  $A$  от объекта  $C$ .



Р и с. 3.

Аналогичные связи с объектом  $C$ , необходимые при обучении, имеют место и для обучаемого  $B$  (см. рис. 3).

Таким образом, процесс обучения есть процесс взаимодействия между обучающим, обучаемым и предметом обучения, причем этот процесс, как и процесс познания вообще, протекает в замкнутой цепи воздействий и не сводится к разомкнутой цепи передачи сведений от обучающего к обучаемому. Лишь отдельные моменты обучения могут осуществляться в разомкнутой цепи.

Разомкнутую цепь передачи информации нельзя рассматривать как простейший элемент, входящий в состав более сложных систем. Действительно, разомкнутая цепь может функционировать лишь в том случае, если передаваемые по цепи сигналы имеют определенный смысл как для передающего, так и для принимающего. Это обстоятельство предполагает предварительно установленную связь между обучающим  $A$ , обучаемым  $B$  и предметом обучения  $C$ . Такая связь может быть

установлена лишь взаимодействием *A*, *B* и *C* в замкнутой цепи. Так, например, процессы обучения ребенка, и в частности формирование у него второй сигнальной системы, происходят в замкнутой цепи при взаимодействии звеньев *A*, *B* и *C*. Но когда язык, алфавит сигналов и связь их с реальным объектом *C* установлены, становится возможной передача сведений от человека к человеку в разомкнутой цепи. Однако и здесь существенно новые сведения, выходящие далеко за рамки старых, требуют нового осмысливания сигналов, нового языка и алфавита, а следовательно, и новых взаимодействий в замкнутой цепи.

Итак, элементарная цепь, «клеточка» того процесса, который дает существенно новые сведения, — это замкнутая цепь взаимодействий обучаемого с окружающей его средой.

Если рассматривать обучение со второй точки зрения, ограничиваясь лишь внутренними процессами, происходящими в обучаемом, то можно различить следующие составные части процесса обучения:

1. **Восприятие.** Последнее не сводится к ощущению, а представляет собой отражение предметов и явлений действительности в совокупности их различных свойств. Характерным является осмысленность восприятия, узнавание знакомых образов. Следовательно, уже в процессе восприятия роль центральной нервной системы весьма активна.

2. **Мышление.** Это высшая, обобщенная форма отражения мозгом действительности, познание существенного, сущности вещей. Методы мышления при обучении те же, что и при познании вообще. Это анализ и синтез, сравнение, обобщение и систематизация, абстракция и конкретизация, образование понятий и оперирование ими, суждения, умозаключения и т. д. В результате мышления образуется понимание сущности явлений и связи между ними. Понять какое-либо явление — значит выяснить причину этого явления и следствия, к которым оно ведет, т. е. включить его в систему причинно-следственных связей. Понимание представляет собой, таким образом, построение в мозгу структуры связей, соответствующей характеру реальной действительности в изучаемой области. Эта структура, построенная путем мышления, является отражением реальной связи явлений. Это как бы модель реальной действительности.

3. **Приобретение умений и навыков.** Понимание обнаруживается в слове и действии. Например, правильность понимания текста учеником можно обнаружить, попросив его пересказать содержание текста своими словами или выполнить на опыте предписания, указанные в тексте. Для достижения

цели обучения необходимо запоминание, упражнения в применении знаний, переосмысливание понятого неправильно и т. д.

Для успешного взаимодействия со средой недостаточно понять лишь внешнюю по отношению к человеку действительность и построить ее модель в голове. Необходимо достичь еще и понимания способов изменения внешней действительности, способов воздействия на нее в желательном направлении. Приобретение умений и навыков теснейшим образом связано с этим вторым видом понимания, который еще в большей мере, чем первый вид, не может быть достигнут лишь путем наблюдения и переработки полученной в результате этого информации. Чтобы достигнуть указанного выше второго вида понимания, необходимо активное взаимодействие человека с окружающей средой.

Наиболее глубокое понимание процессов обучения достигается при рассмотрении их внешней структуры (см. рис. 3) совместно с рассмотрением внутренних процессов, происходящих в обучаемом. Еще большая полнота могла бы быть достигнута при учете внутренних процессов в обучающем, однако здесь эта сторона вопроса не будет затронута.

Рассмотрим основные формы общения обучаемого с внешней средой: 1) восприятие информации, поступающей в готовом виде от обучающего; 2) наблюдение и осмысливание явлений действительности; 3) опыт или эксперимент, неизбежно связанный не только с наблюдением, но и с воздействием обучаемого на окружающую среду.

Обучение связано не с механическим запоминанием информации, передаваемой обучаемому, а с ее осмысливанием, являющимся сложным внутренним процессом.

Наблюдение и осмысливание явлений действительности включают в себя классификацию явлений, распознавание образов и ситуаций и построение понятий (сначала простейших, а затем все более и более общих). Основное в этом процессе заключается не в распознавании отдельных образов, а в построении картины, т. е. системы понятий, цельного отражения окружающего мира. Это построение осуществляется путем внутреннего поиска — воздвигания в голове человека гипотетических систем, сравнения их с результатами наблюдений реальной действительности и преобразования систем с целью достижения соответствия с реальностью. Этот вид поиска происходит в цепи воздействий, замыкающейся внутри нервной системы обучаемого. Вообще поиском можно назвать процесс, при котором производятся воздействия на объекты внешней среды, носящие частично «разведывательный», «пробный», познавательный характер;



анализ результатов произведенных движений позволяет осуществлять дальнейшие движения более целенаправленно, т. е. так, чтобы они были лучше рассчитаны на достижение определенной цели.

Внутренний поиск носит двойственный характер. С одной стороны, результаты наблюдения «подгоняются» под сформировавшуюся ранее в голове человека модель действительности. Например, они умещаются в какой-либо рубрике классификации, основанной на прошлом опыте. С другой стороны, сама модель, сформированная в голове человека, с течением времени деформируется, претерпевает изменения под влиянием новых наблюдений, а иногда и частично заменяется новой моделью.

Внутренний поиск позволяет достичь познания действительности, постигаемой с помощью наблюдения. Однако как познание в целом, так и обучение в достаточно широкой области невозможно без внешнего поиска, производимого в замкнутой цепи, охватывающей объект обучения *С*. Такой поиск включает в себя опыты или эксперименты, связанные с пробными воздействиями на объект *С* и анализом реакций объекта на эти воздействия. При полном отсутствии предварительных сведений о какой-либо области действительности, при полной невозможности опереться на прошлый опыт, на ассоциации и аналогии единственное, что остается, — это простейший из методов поиска, именно метод пробы и ошибок в его наиболее примитивной форме — в виде случайного перебора всевозможных вариантов без всякого продуманного плана. При наличии априорной информации об исследуемой области, при наличии общего опыта и возможности ассоциаций и аналогий появляется возможность лучше организовать поиск, направить его по более перспективным путям, на которых успех более вероятен и быстрее достижим.

Метод поиска — это основной метод самостоятельного добывания новых сведений. Действительно, любой алгоритм — готовая система правил, автоматически гарантирующих успех (например, обеспечивающих успешное решение задачи); при его применении вскрываются лишь знания, потенциально заключенные в нем самом. Существенно новые знания, никак не вытекающие из добытых ранее систем правил, могут быть получены лишь эвристическим, или, иначе, индуктивным, путем, не гарантирующим заранее успеха. Что бы ни добывалось самостоятельно в результате обучения — умение ездить на велосипеде, умение творить новые мелодии или создавать абстрактные математические теории, — все это добывается при помощи поиска, в результате поиска.

Любой процесс обучения, как было отмечено выше, не полностью самостоятелен. Но он и не является полностью несамостоятельным. Самостоятельно добываемые знания получают именно на основе поиска. Чем больше роль поиска при обучении, тем выше уровень самостоятельности обучаемого.

Необходимость внешнего поиска при изучении любой области реальной действительности, казалось бы, опровергается фактом существования таких наук, в которых внешний поиск — во всяком случае в настоящее время — почти или полностью отсутствует. Таковы, например, астрономия, метеорология, геология, археология и в известной мере история. Однако в действительности поиск присущ в той или иной форме любым наукам. В ряде случаев законы, найденные путем поиска в одной области, переносятся в другую по аналогии. Правомерность этой аналогии есть в сущности гипотеза, нуждающаяся в проверке. В других случаях можно изучать цепь причин и следствий и таким образом находить законы, наблюдая процесс случайного поиска, производимый самой природой.

Иногда наука в той или иной области на первых этапах ограничивается наблюдением, но в дальнейшем переходит к эксперименту. Возьмем в качестве примера астрономию. Мы могли до последнего времени лишь наблюдать небесные тела и явления в космосе, возможности для воздействия на них отсутствовали. Именно по этой причине с небом в прошлом было связано множество заблуждений. Древние греки поместили своих богов на труднодоступный Олимп. Позднейшие религии перенесли своих богов в еще менее доступное место — на небо. Но наука штурмует небеса. Законы механики первоначально были открыты и проверены на Земле, во взаимодействии с земными объектами. Затем эти законы по аналогии были перенесены на небесные тела. Родилась небесная механика, которая многое объяснила. Наблюдение излучений, приходящих из космоса, составило следующий этап в его познании. Но правомерность любой аналогии нуждается в обосновании. Для науки обычны разнообразные косвенные методы доказательства реальности ее объектов. Они в изобилии имеются и в астрономии. Однако теперь наступает следующий этап, этап активного освоения космоса, когда радиолокационные щупальца, а затем и космические ракеты, вонзаясь в космос, позволяют поднять наблюдения на высший уровень и, главное, переходить к прямым экспериментам, к космическим опытам.

Роль аналогий и гипотез в различных науках и на различных стадиях их развития может быть разной. С одной стороны, существуют такие науки, в которых большая часть материала основана на наблюдениях, аналогиях и гипотезах, т. е. на

информации косвенного типа; в них отсутствует или очень невелик объем прямого эксперимента, непосредственного воздействия на изучаемый объект. С другой стороны, не существует вообще такой науки, в которой все ее положения и выводы были бы подтверждены прямым экспериментом. Сумма сведений, не содержащая гипотез и предсказаний о том, что еще не было наблюдаемо, вовсе не была бы наукой.

### *Уровни обучения*

Человека можно научить читать и писать. Человека можно научить понимать и применять квантовую физику и теорию относительности. Таким образом, существуют различные уровни обучения — от самых примитивных до наиболее сложных. Эти уровни примерно соответствуют последовательности приобретения знаний в средней и высшей школе. В некоторой мере они соответствуют историческому пути развития человеческого знания.

Центральным звеном в процессе обучения является мышление обучающегося. Чем шире и глубже познаваемая область, тем больше самостоятельности в мышлении требуется от учащегося, тем более высоким должен быть уровень его мышления. Этот уровень связан с образованием сначала простейших понятий, а затем все более и более сложных, возникающих на основе ранее сложившихся понятий.

При обучении сложным навыкам подвергаются изучению не только сами по себе отдельные объекты, но и производится процесс обобщения. Над «полем» объектов строится новое поле — «поле» понятий, являющееся отражением в мозгу существенных свойств «поля» объектов. На эти понятия можно опираться, строя новое, еще более обобщенное «над-поле» более сложных понятий и т. д. Такая иерархия понятий не произвольна; она является отражением подлинной структуры реальной действительности.

Процесс выработки обобщенных понятий теснейшим образом связан с так называемой второй сигнальной системой. Вторая сигнальная система у человека обладает способностью реагировать на слово, являющееся для нее раздражителем, и тем самым реагировать на понятие, т. е. на результат обобщения. «Человек, — пишет И. П. Павлов, — прежде всего воспринимает действительность через первую сигнальную систему, затем он становится хозяином действительности, — через вторую сигнальную систему (слово, речь, научное мышление)»<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> «Павловские среды», т. 1, М. — Л., 1949, стр. 239.

Вторая сигнальная система — основной фактор общения людей между собой, а значит, и обучения человека человеком. Именно благодаря наличию второй сигнальной системы общность трудовых и познавательных процессов охватывает огромные коллективы людей, и притом не только работающих совместно друг с другом, но и разделенных пространством и временем.

Уровни обучения людей можно различать по степени общности тех понятий, которые вырабатываются в процессе мыслительной деятельности при обучении. Уровни обучения животных более примитивны. Такова, например, дрессировка, не требующая ни выработки понятий, ни второй сигнальной системы. Значительно более высокий, но еще сравнительно примитивный уровень обучения людей характеризуется терминами *зазубривание, натаскивание*. Выработка механических навыков также относится к достаточно низкому уровню. Уже и здесь, однако, требуется известная степень понимания и осмысливания.

На существенно более высоких уровнях обучения осуществляется выработка творческих навыков. Однако между этими различными уровнями обучения нет резкой границы, поскольку имеются промежуточные и «гибридные» виды навыков. К тому же различные уровни обучения имеют между собой то общее, что все они требуют в той или иной мере тех действий, которые были описаны выше при рассмотрении структуры обучения. Чем выше уровень обучения, тем больше роль самостоятельно добываемых знаний, а следовательно, и поиска в обучении. Чем выше уровень обучения, тем в более высокой сфере все более и более общих понятий совершается этот поиск.

В случае механических навыков основную роль играют автоматизмы, т. е. координированные группы движений, выполняемые без контроля со стороны сознания. Простейшие технические навыки, найденные и усвоенные в результате поиска, часто сами по себе не содержат поисковых движений. Интересно отметить, однако, что более сложные механические навыки управления, например навыки управления велосипедом или автомобилем, уже содержат в себе поисковые движения. Однако эти движения у обученного велосипедиста или шофера совершаются без контроля со стороны сознания.

Творческие навыки в основном представляют собой усовершенствованные методы поиска нового, находимые в свою очередь путем поиска. Приобретенные в результате обучения сложные навыки, например фантазия, проницательность и методичность, являются методами рационализации процесса

поиска. Они и определяют умение обученного индивидуума решать сложные задачи. Однако эти методы в принципе не отличаются от автоматизмов, приобретаемых при обучении механическим навыкам. Они лишь сложнее и относятся к области более общих понятий. Кроме того, поиск в области более общих понятий сложнее еще и потому, что может сопровождаться процессами поиска, происходящими параллельно в менее общих категориях, на более низких уровнях.

## 2. Процессы обучения автоматов

### *Понятие процесса обучения автомата*

За последние годы резко возрос интерес к обучающимся автоматическим системам. В технической литературе описан ряд автоматических систем, названных их авторами обучающимися. Однако определения того, что можно понимать под обучающейся автоматической системой, несколько разноречивы. При попытке дать такое определение возникают известные трудности. Если определение чрезмерно расплывчато и ориентировано на интуитивное понимание, то любую систему можно будет назвать обучающейся и окажутся правомерными суждения, например, такого типа: «Система автоматического регулирования обучается иметь на выходе значение регулируемой величины  $x$ , равное значению задающего воздействия  $x^*$ » — или: «Измерительный прибор, обучаясь, познает значение измеряемой величины». По-видимому, имеет смысл лишь такое определение понятия *обучения в автоматической системе*, при которой класс обучаемых систем не совпадает с классом всех автоматических систем или даже с основной их частью.

В то же время нет возможности предельно резко отграничить область обучающихся автоматических систем от остальных автоматических систем, так как существуют различные уровни обучения, в том числе и такие, когда обучение носит рудиментарный характер.

Рассмотрим ряд сходных черт, которыми обладают как процессы в некоторых типах автоматических систем, так и процессы обучения людей и животных.

1. Процесс обучения человека или животного, как указано выше, происходит, вообще говоря, в замкнутой цепи: «человек — окружающая среда» или «обучаемый — обучающий — объект обучения». В разомкнутой цепи может происходить лишь процесс передачи сведений от обучающего обучаемому,

что является лишь моментом и не характеризует полностью процесс обучения. Более сложная структура процесса обучения соответствует наличию внутренних обратных связей в обучаемом и внутреннего поиска, а еще более сложная структура — наличию внешней цепи воздействия, которая замыкается через предмет обучения и в которой происходит процесс внешнего поиска. Поэтому естественно разделение обучающихся автоматических систем на три типа: *разомкнутые системы* (простейший по внешней структуре тип), *системы с цепью воздействий, замыкающейся внутри обучаемого автомата*, и *системы с цепью воздействий, включающие обучаемый автомат и предмет обучения*. Последний тип является основным.

2. При обучении изменяются характеристики обучающейся системы, ее способ поведения, т. е. характер «реакций» на «раздражения», характер зависимости между выходом и входом системы, иначе, алгоритм системы. *Процесс обучения — это процесс изменения алгоритма системы (или ее части)*.

3. Не всякое изменение алгоритма можно назвать обучением. Как человек приобретает в результате обучения определенные полезные навыки, помогающие ему лучше преобразовывать действительность, так и автоматическая система после обучения делает то, чего она не могла делать до обучения, либо делает лучше то, что до обучения она делала хуже. Всякое обучение имеет свою цель. Поэтому обучение в автоматической системе — это целенаправленное изменение алгоритма, изменение, имеющее целью достижение успешных в каком-либо смысле результатов. Очевидно, что при обучении автоматической системы, как и при обучении человека, должен существовать какой-то критерий успеха. В процессе обучения значение критерия успеха для системы изменяется в сторону улучшения. Происходит как бы переходный процесс — процесс перехода от необученного к обученному состоянию. Система считается обучившейся, если значение критерия достаточно близко к наилучшему возможному, если на «экзамене», т. е. в практическом действии, где мерилом является успех, она получает «удовлетворительную» или «хорошую» оценку.

4. В нервной системе только что родившегося ребенка заложены лишь инстинкты, безусловные рефлексy, но нет еще никаких знаний. Однако уже с первых дней своей жизни (а может быть, даже еще в утробе матери) путем слепого, хаотического поиска наимпримитивнейшим образом проб и ошибок ребенок приобретает некоторые первоначальные сведения, проходит первую стадию обучения жизненным навыкам, у него складываются уже некоторые условные рефлексy. С помощью

окружающих людей он в дальнейшем постигает новое, запас его знаний увеличивается, а уровень их повышается. Важно отметить, что ребенок не рождается с готовым запасом знаний и способами поведения, а приобретает их в результате обучения. Точно так же и обучающаяся автоматическая система характеризуется тем, что достигаемый в результате обучения закон поведения (алгоритм) не заложен заранее в систему ее конструктором. В противном случае автомат просто воспроизводил бы алгоритм, полученный им в готовом виде от обучившегося ранее человека.

Итак, *процесс обучения автомата — это процесс целенаправленного изменения его алгоритма; при этом алгоритм, вырабатываемый в процессе обучения, не закладывается в автомат (заранее или в процессе обучения автомата) его конструктором.* Обычно под процессом обучения автомата понимают переходный процесс улучшения его алгоритма. Корректирование этого алгоритма в установившемся процессе «слежения» за медленными изменениями свойств объекта относится уже к другому типу процессов в адаптивных, или самоприспосабливающихся, системах.

Только простейшие, рудиментарные по внешней структуре формы обучения могут быть моделированы в разомкнутой цепи. Более сложные формы обучения могут иметь место лишь в замкнутой цепи. Как указывалось в § 1, нахождение существенно новых законов поведения, не вложенных заранее в систему, возможно лишь в результате поиска. Поэтому автоматический поиск является основным типом процессов в развитых, обучающихся автоматических системах. Адаптивные, или самоприспосабливающиеся, системы, частным случаем которых являются самообучающиеся системы, можно классифицировать различными путями. Например, системы, у которых процесс адаптации совершается в разомкнутой цепи, называются системами с жесткой адаптацией; если же процесс адаптации происходит в замкнутой цепи, то соответствующие системы называются самонастраивающимися. Системы автоматического поиска — это основной из типов самонастраивающихся систем.

### *Цель процесса обучения автомата*

Сравнение процессов обучения людей и автоматов показывает, что между ними существуют известные черты сходства. Это оправдывает название «обучающиеся автоматические системы», хотя на самом деле речь идет лишь

о моделировании, и притом пока еще весьма примитивном, процессов обучения человека.

Следует все же отметить, что между процессами обучения человека, а также животного, с одной стороны, и автоматов, с другой стороны, имеется значительная разница. Частично она происходит от того, что в настоящее время конструирование обучающихся автоматических систем лишь начинается и они еще очень примитивны. С другой стороны, как цели, так и в некоторой мере методы обучения людей и автоматов вовсе не тождественны.

Общей целью обучения человека является воспитание в нем разносторонних способностей, умений и навыков, необходимых для жизни в обществе. Цели же обучения автомата несравненно уже: они ограничены узкими рамками выполнения определенных заданий. Далее, в методе обучения человека большую роль играет воспитательное воздействие на него со стороны других людей и общественной среды в основном через посредство второй сигнальной системы. Ничего подобного нет при обучении автомата. Не существует «коллектива» автоматов, хоть в какой бы то ни было мере сравнимого с человеческими коллективами. Каждый автомат является в сущности лишь орудием в руках человека и через их посредство служит человеческому коллективу.

Обучающиеся автоматические системы возникли с усложнением автоматики. Они появились на свет именно потому, что часто человеку требуется слишком много времени и труда, чтобы в сложных случаях заранее найти требуемый алгоритм и вложить его в готовом виде в автомат. К тому же непредвиденные изменения объекта управления или внешней среды могут вызвать необходимость в новом алгоритме автоматического управляющего устройства, форму которого иногда невозможно или слишком трудно предусмотреть. Поэтому становится актуальной разработка таких систем, которые сами (полностью автоматически или в результате тренировки, производимой оператором) могут целенаправленно изменять свои алгоритмы. При этом — что крайне важно практически — оператору вовсе не требуется проникать внутрь автомата и изменять его схему. Последняя изменяется сама, автоматически. Кроме того, оператор вовсе не должен заранее знать тот весьма сложный алгоритм, который автоматически вырабатывается в обучаемой машине. Роль оператора сводится — если он здесь вообще нужен — лишь к довольно простой тренировке автомата, не требующей высокой квалификации. Этот процесс имеет известную аналогию с обучением животного. Человек не должен «конструировать» ту сложнейшую сеть условных рефлексов, кото-



рая создается в процессе тренировки в организме животного. Задача обучающего гораздо проще и заключается в формировании требуемого закона поведения путем подкрепления правильных рефлексов животного и торможения неправильных.

Человеку удобнее по возможности меньше вмешиваться в процесс обучения автомата, по возможности меньше тратить на этот процесс труда и времени. Поэтому обучающийся автомат относительно больше, чем, например, обучающийся ребенок, должен быть предоставлен самому себе. Автомат должен в большей мере учиться на собственных ошибках, что вовсе не всегда является наилучшим педагогическим приемом при обучении людей или животных.

### *Структура процесса обучения автомата*

Общие структурные схемы процессов обучения (см. рис. 1, 2 и 3) пригодны для описания обучения автоматов так же, как и для описания обучения людей. В зависимости от роли и места человека в процессе обучения автомата целесообразно разделить обучающиеся автоматические системы на три типа:

1. Автоматические системы, обучаемые оператором. В этом случае (рис. 1, 2 и 3) человек-оператор *A* обучает автомат *B*. Примерами таких систем могут служить перцептрон с обобщением со стороны оператора<sup>1</sup>, пандемониум<sup>2</sup> и адалин<sup>3</sup>.

2. Автоматически обучаемые автоматические системы. В системах такого рода имеются отдельные автоматы — обучающий *A* и обучаемый *B*. Примерами автоматически обучаемых систем являются система автоматического синтеза<sup>4</sup> и «автоматический предсказатель»<sup>5</sup>, кратко описанные ниже.

Указанные два типа систем, вообще говоря, не отличаются друг от друга в принципиальном отношении настолько, чтобы

---

<sup>1</sup> F. Rosenblatt, Two Theorems of Statistical Separability in the Perceptron, «Symposium on the Mechanization of Thought Processes», Teddington, 1958.

<sup>2</sup> O. G. Selfridge, Pandemonium: a Paradigm for Learning, «Symposium on the Mechanization of Thought Processes».

<sup>3</sup> B. Widrow, M. E. Hoff, Adaptive Switching Circuits, «IRE Wescon Convention Record», Part 4, 1960, p. 96—104.

<sup>4</sup> См. А. А. Фельдбаум, Автоматический синтез процессов, алгоритмов и систем, «Известия АН СССР. Энергетика и автоматика» № 4, 1960.

<sup>5</sup> D. Gabor, W. P. L. Wilby, R. Woodcock, An Universal Non-linear Filter, Predictor and Stimulator which Optimizes itself by a Learning Process. «Proceedings of the Institute of Electrical Engineers», Part B, N 40, July 1961.

их невозможно было сравнивать. Действительно, в системах первого типа принципиально возможна замена обучающего оператора автоматом. Кстати, именно изучение такой целиком автоматической системы позволит исследовать ее динамику и полностью выяснить ее поведение.

3. Автоматические системы с самообучением (самообучающиеся системы), в которых отсутствует четкое разделение на обучаемую и обучающую части, и процесс обучения состоит в том, что система или ее часть (например, управляющая часть) изменяет целенаправленным образом свой закон поведения, находя успешный алгоритм. Так может работать управляющее устройство автоматической системы, которое, изменяя свой алгоритм и оценивая результаты изменения на выходе системы, может путем автоматического поиска обучиться методам успешного управления объектами. Иногда обучающаяся и обучаемая части — это «куски» одной и той же программы, вследствие чего их трудно отделить друг от друга. Следует отметить, однако, что с принципиальной точки зрения можно всегда представить самообучающееся управляющее устройство в виде двух частей, соединенных друг с другом, причем одна из этих частей «обучает», а другая «обучается».

К этим типам можно было бы добавить еще систему в виде человека, обучаемого автоматом (обучающим автоматом). Существуют разнообразные системы этого рода, например «машина-учитель»<sup>1</sup>. Однако этот чрезвычайно важный вид систем здесь не рассматривается.

Разработанные до настоящего времени автоматические системы, которые можно (иногда с некоторыми оговорками) назвать системами с обучением, представляют собой большей частью экспериментальные образцы, задачей которых является моделирование условных рефлексов, классификация и распознавание образов, автоматический синтез управляющих устройств, а также обучение некоторым играм и решению задач (например, задачи о кратчайшем пути выхода из лабиринта)<sup>2</sup>.

Обучение наилучшим методам управления на реальном объекте не всегда возможно или целесообразно, так как оно вызывает нежелательные изменения его режима. В этом случае можно производить обучение не на самом объекте, а на его модели, встроенной в управляющее устройство. Здесь, однако, возникает существенная трудность. Если даже вначале модель

---

<sup>1</sup> G. Pask, The Teaching Machine as a Control Mechanism, «Transactions of the Society of Instruments Technology», vol. 12, N 2, June 1960, p. 72—89.

<sup>2</sup> См. «Автоматы», М., 1956.

имеет те же характеристики, что и реальный объект, то в дальнейшем из-за непредвиденных изменений объекта между характеристиками модели и объекта может возникнуть расхождение. В этом случае поиск наилучшего алгоритма управления с помощью модели может дать результаты, не соответствующие требуемым для реального объекта. Эту трудность можно преодолеть, если сделать модель объекта автоматически изменяемой. Если путем автоматического поиска так изменять характеристики модели, чтобы поддерживать их близкими к изменяющимся характеристикам объекта, то такая модель сможет служить заменой реального объекта. Основываясь на этой модели и производя на ней «эксперименты», устройство осуществляет поиск наилучшего алгоритма<sup>1</sup>. Такой двойной поиск — поиск характеристик модели и поиск методов успешного управления, производимый на модели, — несколько напоминает процесс, с помощью которого человек овладевает определенной областью действительности. Сначала он, исследуя эту область, создает в мозгу ее отражение, ее модель. Наблюдая изменяющуюся действительность, человек корректирует, совершенствует эту модель, приспособливает ее к реальности. Пользуясь такой моделью, человек сначала в уме проектирует успешные методы воздействия на действительность, приводящие к желаемой цели, а затем осуществляет эти действия в реальной ситуации.

#### *Методы разработки систем автоматического обучения*

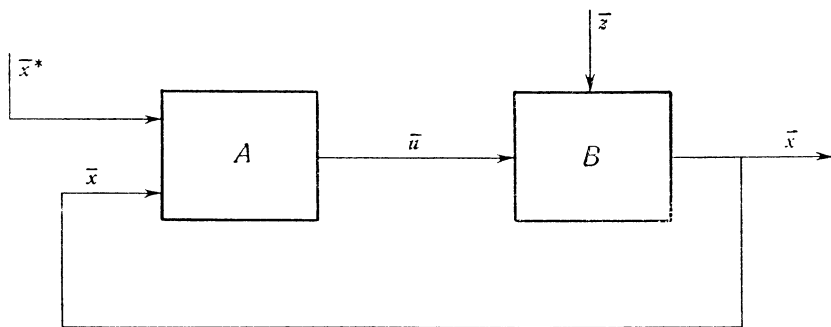
Рассматривая различные способы разработки принципов действия автоматов, моделирующих функции интеллекта, и в частности обучающихся автоматов, можно различить три подхода, три метода разработки. В большинстве случаев эти методы переплетаются друг с другом; они редко встречаются в чистом виде, и вообще невозможно провести четкую границу между ними. Тем не менее различать их полезно, так как это способствует упорядочению и классификации различных путей разработки автоматов. Эти подходы можно назвать *математическим*, *психологическим* и *физиологическим* (последние два можно именовать биологическим подходом).

Сущность *математического подхода* состоит в формулировке и решении проблемы построения автомата как чисто математи-

---

<sup>1</sup> См. А. А. Фельдбаум, Вычислительные устройства в автоматических системах, М., 1959, гл. X, XIV, XV.

ческой задачи. Характерные примеры такого подхода встречаются, например, в теории оптимальных систем. Чтобы пояснить типичную постановку задачи, рассмотрим структурную схему системы автоматического управления, изображенную на рис. 4. Буквой  $A$  на этом рисунке обозначено управляющее устройство, а буквой  $B$  — управляемый объект. На выходе объекта  $B$  имеется управляемая величина  $x$ , характеризующая его состояние. В общем случае существует несколько выходных величин  $x_1, \dots, x_n$ , которые удобно считать координатами вектора  $\bar{x}$ . На вход объекта поступает управляющее воздействие  $u$  от управляющего устройства  $A$ . Если таких воздействий несколько:  $u_1, \dots, u_r$ , то их можно представить в виде вектора  $\bar{u}$



Р и с. 4.

с координатами  $u_j$  ( $j = 1, \dots, r$ ). На вход устройства  $A$  подается задающее воздействие  $x^*$ , представляющее собой инструкцию о том, каков должен быть выход  $x$  объекта. Если инструкция включает в себя несколько величин  $x_v^*$  ( $v = 1, \dots, p$ ), то их можно считать координатами вектора  $\bar{x}^*$ . Например, можно потребовать, чтобы в идеальном случае удовлетворялись условия  $x_i = x_i^*$  ( $i = 1, \dots, n$ ), где  $x_i^*$  — заданные функции времени (в данном случае  $p = n$ ).

Управляющее устройство  $A$  в замкнутой системе получает по линии обратной связи информацию о том, какова в действительности величина  $\bar{x}$ . Если она не соответствует требованиям, то устройство  $A$  действует на объект  $B$  так, чтобы приблизить  $\bar{x}$  к этим требованиям.

Отклонение  $\bar{x}$  от требований может происходить, например, вследствие того, что на объект  $B$  действует некоторое заранее непредвиденное и неконтролируемое возмущение (помеха)  $z$ . Если в различных частях объекта действует несколько возмущений, то их можно представить в виде вектора  $\bar{z}$ .

Обычно объект  $B$  задан. Задана также цель управления, заключающаяся в том, чтобы сделать возможно меньшей некоторую величину (функционал)  $Q$ , зависящую от вида функций  $x(t)$ ,  $x^*(t)$ ,  $u(t)$  и  $z(t)$ . В ряде случаев это условие удается упростить; если  $Q$  зависит только от  $\bar{x}$  и  $x^*$ , то можно сформулировать цель управления в виде условия

$$Q(\bar{x}, x^*) = Q(x_1, \dots, x_n, x_1^*, \dots, x_p^*) = \min. \quad (1)$$

Обычно задаются также дополнительные условия, вызванные ограниченностью ресурсов и необходимостью безаварийной работы объекта. Эти условия часто можно свести к требованиям ограничений допустимыми пределами некоторых величин (функционалов)  $H_j$ , зависящих от вида функций  $x(t)$ ,  $x^*(t)$ ,  $u(t)$ ,  $z(t)$ . Величины  $H_j$  не должны выходить за пределы установленных для них диапазонов. В частном случае, когда  $H_j$  зависят только от  $\bar{x}$ , можно часто свести условия ограничений к требованиям

$$H_j(\bar{x}) = H_j(x_1, \dots, x_n) \leq 0 \quad (j = 1, \dots, m). \quad (2)$$

Например, можно потребовать наивысшей производительности объекта, но при этом качество продукции должно быть не ниже предусмотренного, потребление энергии или ценного сырья — не выше заданного и т. д. Условия (1) и (2) задаются перед началом проектирования автоматического устройства на основании технических и экономических соображений.

Задача синтеза оптимальной системы заключается в определении такого алгоритма (т. е. закона переработки входных сигналов в выходные) управляющего устройства  $A$ , при котором процессы управления были бы оптимальными, т. е. удовлетворялись бы условию (1) при ограничениях (2).

В настоящее время математические методы решения вариационных задач теории оптимальных процессов и методы синтеза различных типов оптимальных систем автоматического управления интенсивно разрабатываются и в этих областях достигнуты существенные успехи. Теория оптимальных систем позволила создать управляющие устройства, которые невозможно было бы изобрести, пользуясь лишь интуицией инженера.

Другим примером математического подхода являются методы математической логики, позволяющие сконструировать логическую релейно-контактную или бесконтактную схему, поведение которой соответствует списку заданных инструкций логического характера.

Растущая мощь математического метода не означает, однако, что он свободен от недостатков и ограничений. С помощью математических методов удалось достичь эффективных реше-

ний пока лишь в сравнительно не очень сложных случаях. Значительное усложнение задачи обычно затрудняет или даже делает невозможной ее математическую формулировку. Так, например, обстоит дело с задачами, где требуется найти не только достаточно быстродействующую и точную, но одновременно и достаточно простую и надежную систему. Иногда задача допускает математическую формулировку, но ее решение становится настолько громоздким, что не может быть проведено на современных цифровых вычислительных устройствах. Сравнительно слабо разработаны пока принципиальные вопросы оптимальной стратегии при неопределенной ситуации, когда, например, неизвестны вероятностные характеристики случайной помехи (см. рис. 4).

Методы современной математики хорошо приспособлены для нахождения алгоритмов дедуктивного характера, где из данных, относящихся к задаче, путем применения определенного метода их обработки с необходимостью следует определенное решение. Однако формализация индуктивной, эвристической манеры рассуждений, при которой конечный успех вовсе не гарантирован, пока еще производится лишь в весьма примитивных формах. Методы современной математики в этой области слишком точны и поэтому неуклюжи. В настоящее время мы иногда поступаем так, как если бы, изучая, например, поведение газа в сосуде, составляли дифференциальные уравнения движения для каждой из гигантского множества его молекул, вместо того чтобы пользоваться простым уравнением Клапейрона.

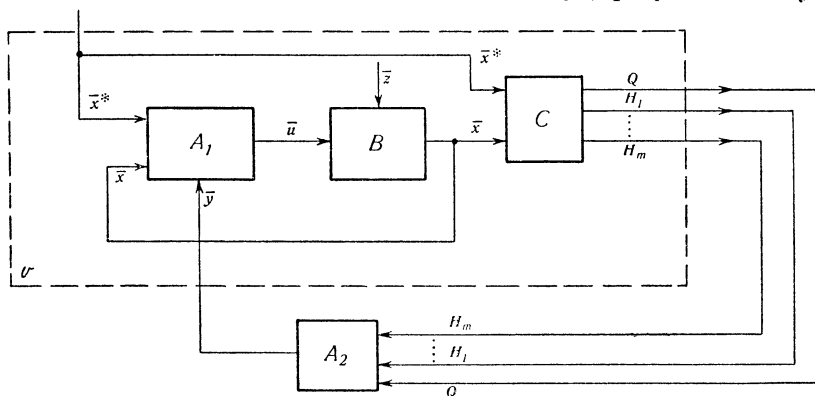
Между тем человек обладает весьма развитой способностью к индуктивным, эвристического характера рассуждениям без привлечения сколько-нибудь сложного математического аппарата. Естественно возникает стремление создавать новые автоматы, подражающие методам человека, который решает какую-либо задачу. Такой подход можно назвать *психологическим*.

Не следует представлять себе этот подход как приложение достижений и законов психологии к конструированию автоматов. Положения, высказываемые в психологии, имеют зачастую слишком расплывчатую форму, чтобы их можно было непосредственно применить в технике. Скорее они являются идеями или наводящими соображениями, которые могут натолкнуть конструктора на новый принцип действия. В свою очередь автомат, построенный на базе такого принципа действия, может оказаться полезным для психологии.

Не следует представлять себе этот подход так же, как слепое копирование живой природы в автоматике. Техника часто

выбирает пути, более адекватные ее средствам, чем принципы устройства живых организмов. Однако пренебрежение этими принципами было бы крайне неразумным, особенно если учесть высокое качество систем управления, созданных природой.

Основной процесс, с помощью которого человек добивается успеха в решении задачи при неясности и неопределенности пути решения, — это процесс поиска. Этот процесс не гарантирует заранее успеха. Он состоит в пробах различных методов решения. Прежде всего отбираются зарекомендовавшие себя ранее или внушающие надежду методы, которые проверяются в действии. Затем, если успех не достигнут, результаты изу-



Р и с. 5.

чения задачи могут привести к гипотезам о пригодности каких-либо новых методов, к проверке этих методов и т. д. Поэтому психологический подход обычно приводит к автоматам, работающим по методу поиска.

Одним из простейших классов технических задач, в котором метод поиска оказался полезным, явились задачи автоматической оптимизации. Допустим, что помеха  $\bar{z}$  (рис. 4) медленно изменяется заранее непредвиденным образом в широком диапазоне, вследствие чего и характеристики управляемого объекта  $B$  подвергаются хотя и сравнительно медленным, но в конечном итоге значительным изменениям. Тогда управляющее устройство  $A$ , рассчитанное на определенный вид характеристик объекта  $B$ , может оказаться уже неоптимальным и даже неработоспособным при их изменении. В этом случае к основному управляющему устройству можно добавить некоторое дополнительное устройство, подражающее действиям экспериментатора, налаживающего работу системы (рис. 5).

Пусть основная часть управляющего устройства  $A_1$ , осуществляющая непосредственное управление объектом  $B$ , имеет изменяемый в широком диапазоне алгоритм управления. Другая часть  $A_2$  управляющего устройства воспринимает значения критерия оптимальности  $Q$  и ограничений  $H_j$ , вычисленные по значениям величин  $\bar{x}$  и  $\bar{x}^*$  вычислительным устройством  $C$ . Руководствуясь значениями  $Q$  и  $H_j$ , устройство  $A_2$  оказывает воздействие  $\bar{u}$  на основную часть  $A_1$  управляющего устройства, перестраивая ее так, чтобы выполнялись условия (1) и (2). В общем случае эта перестройка производится по тому или иному методу автоматического поиска. При этом устройство  $A_2$  производит пробные изменения алгоритма, реализуемого устройством  $A_1$ , в каких-либо направлениях, анализирует полученные результаты и затем в зависимости от исхода эксперимента осуществляет дальнейшие воздействия  $\bar{u}$  на  $A_1$ . Система, автоматически отыскивающая и поддерживающая путем автоматического поиска оптимальное значение величины  $Q$ , называется *системой автоматической оптимизации*. Совокупность  $\nu$  блоков, очерченную пунктиром на рис. 5, можно назвать объектом оптимизации, а устройство  $A_2$  — *автоматическим оптимизатором*.

Психологический подход особенно четко выражен в работах по созданию методов автоматического поиска доказательств геометрических теорем<sup>1</sup>, подробное описание которых выходит за рамки данной статьи.

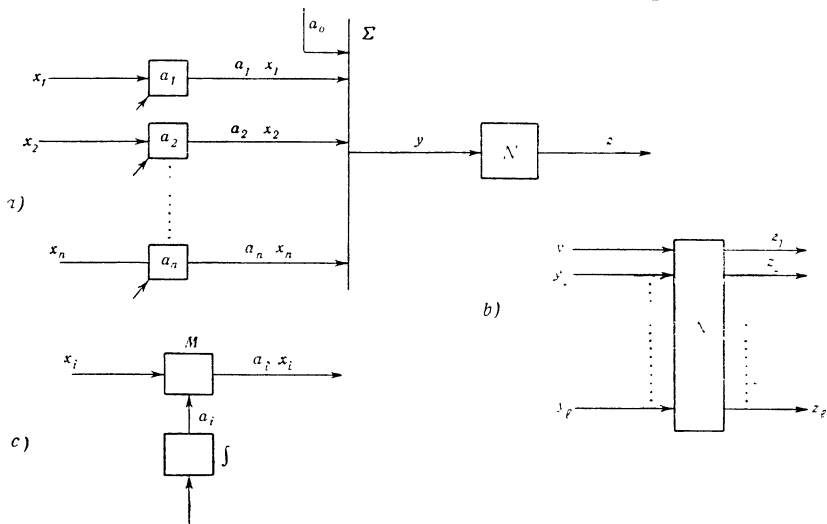
Чем сложнее функции разрабатываемых автоматов, тем важнее роль психологического подхода. Но, чем сложнее возникающие задачи, тем более сложным может оказаться алгоритм или программа поиска, заложенная в устройство  $A_2$ , тем более гибким, изменяемым в широких пределах должно быть устройство  $A_1$ . И вот в поисках простого выхода из затруднений взор конструктора вновь обращается к живому организму. Этот организм способен выполнять сложнейшие функции, а между тем никто не вкладывал в его нервную систему заранее продуманного сложного алгоритма. Возникает вопрос: нельзя ли создать аналог нервной системы животного и, дрессируя, обучить его выполнению тех или иных функций? Такой подход можно назвать *физиологическим*. По отношению к этому названию справедливы такие же оговорки, какие были сделаны по поводу психологического подхода.

---

<sup>1</sup> H. L. Gelernter, N. Rochester, Intelligent Behaviour in Problem-Solving Machines, «IBM Journal of Research and Development», vol. 2, N 4, October 1958.



Нервная система животного состоит из нервных клеток — нейронов. Поэтому важнейшими проблемами при физиологическом подходе являются задачи создания модели нейрона и системы нейронов, связанных между собой. Простейшие модели чисто дискретного типа были предложены в работе У. С. Маккаллока и У. Питтса<sup>1</sup>; с ними связаны и системы Дж. Неймана, О. М. Аттли и других для моделирования условных рефлексов<sup>2</sup>. В течение последних лет началась разработка и



Р и с. 6.

применение более гибких моделей нейронов (такие модели иногда называются нейроидами), у которых входы и выходы обычно дискретны, но внутренние блоки производят операции непрерывного характера<sup>3</sup>. У такой модели имеются два типа входов: возбуждающие и тормозящие. Первые учитываются с положительным, а вторые — с отрицательным знаком. Модель генерирует импульс стандартной формы, когда взвешенная алгебраическая сумма ее возбуждающих и тормозящих входов

<sup>1</sup> См. У. С. Маккалок, У. Питтс, Логическое исчисление идей, относящихся к нервной активности, «Автоматы», М., 1956.

<sup>2</sup> См. О. М. Аттли, Машины условной вероятности и условные рефлексы, «Автоматы». См. также «Symposium on the Mechanization of Thought Processes».

<sup>3</sup> F. Rosenblatt, Two Theorems of Statistical Separability in the Perceptron, «Symposium on the Mechanization of Thought Processes»; B. Widrow, M. E. Hoff, Adaptive Switching Circuits, «IRE Wescon Convention Record», Part 4, 1960, p. 96—104; U. K. Steinbuch, Automat und Mensch, Berlin, 1961.

превышает некоторый порог. Конечно, подобные модели лишь очень грубо воспроизводят некоторые функциональные черты работы подлинных нейронов, а по своей физической природе не имеют с действительными нейронами ничего общего.

Часто применяется простейшая схема модели нейрона, показанная на рис. 6а. Входные величины  $x_1, \dots, x_n$  обычно имеют лишь два возможных значения. Будем считать эти значения равными 0 и 1 (встречаются и такие пары возможных значений: +1 и -1; различие в выборе символов определяется чисто техническими соображениями). Величины  $x_i$  ( $i = 1, \dots, n$ ) проходят через звенья непрерывного типа, где они умножаются на коэффициенты  $a_i$ . На выходах этих звеньев появляются величины  $a_i x_i$ . Если  $a_i > 0$ , то вход возбуждающий; если  $a_i < 0$ , то вход тормозящий. Выходные величины указанных выше звеньев суммируются с помощью суммирующего звена, что на рисунке обозначено вертикальной чертой и знаком  $\Sigma$ . Таким образом, выходная величина суммирующего звена равна

$$y = a_0 + \sum_{i=1}^n a_i x_i, \quad (3)$$

где  $a_0$  — дополнительное слагаемое, которое подается на суммирующее звено и представляет собой порог возбуждения. Выходная величина звена  $\Sigma$  поступает на нелинейное звено  $N$ . Это звено может быть релейным, т. е. подчиняющимся следующему закону, связывающему его выходную ( $z$ ) и входную ( $y$ ) величины:

$$z = \begin{cases} 0, & \text{если } y < 0 \\ 1, & \text{если } y \geq 0. \end{cases} \quad (4)$$

Таким образом, величины  $x_i$  на входе и величина  $z$  на выходе модели нейрона дискретные в отличие от непрерывной величины  $y$ , которая может принимать в принципе любое значение.

Иногда встречаются так называемые связанные модели нейронов, в которых звено  $N$  общее для некоторого числа  $l$  нейронов (см. рис. 6 б). В таком звене выходная величина  $z_i$ , соответствующая максимальной из входных величин  $y_i$ , равна 1, а остальные выходные величины  $z_j$  ( $j \neq i$ ) равны нулю.

Важное свойство этой модели нейрона, которая иногда называется приспособляющейся, заключается в том, что величины  $a_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ) могут изменяться под влиянием внешних воздействий. Можно, например, осуществить звено, умножающее  $x_i$  на коэффициент  $a_i$  (см. рис. 6 с), в виде

множительного звена  $M$ , на вход которого подаются сомножители  $x_i$  и  $a_i$ . Допустим, что  $a_i$  является выходной величиной интегрирующего звена  $\int$ . Тогда импульс, поступивший на вход звена  $\int$ , обусловит положительное или отрицательное приращение  $\Delta a_i$  величины  $a_i$ . Величина  $a_i$ , изменив свое значение, «запомнит» благодаря этому факт прихода импульса. Таким образом, в модели нейрона создается способность к запоминанию прошлого путем изменения величин  $a_i$ .

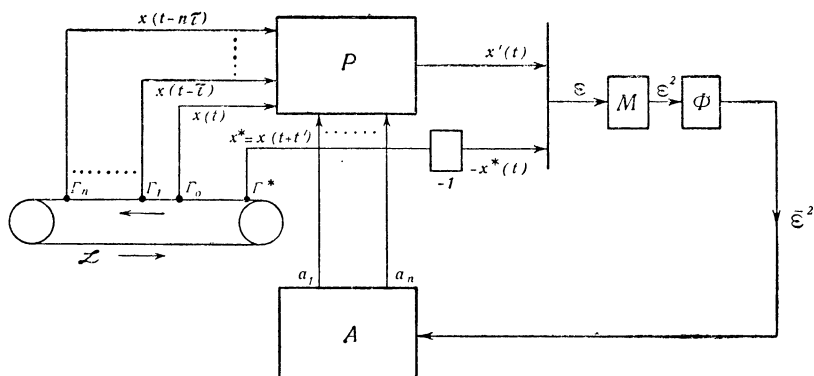
### *Примеры систем автоматического обучения*

Примеры обучающихся автоматических устройств приведены в ряде работ<sup>1</sup>. Одним из примеров с а м о о б у ч а ю щ и х с я автоматов является система автоматического синтеза оптимальных управляющих устройств<sup>2</sup>. Структурная схема этой системы аналогична схеме, изображенной на рис. 5. Однако вместо реального объекта  $B$  в схему включена его модель. Эта модель обычного типа. Вместо управляющего устройства  $A_1$  также включена его модель, однако выполнена она специальным образом. Ее параметры, характеристики и даже структуру можно изменять в широких пределах, варьируя управляющие напряжения  $y_1, \dots, y_q$ . Последние следует рассматривать как координаты управляющего вектора  $\vec{y}$ . Число  $q$  в простейших вариантах равно  $10 \div 12$ , а с помощью дополнительных блоков оно доводится до 144 и более. Следовательно, в модели устройства  $A_1$ , гибко изменяемой, может варьироваться большое число параметров. Вычислительное устройство  $C$  находит значения критерия оптимальности  $Q$  и ограничиваемых величин  $H_1, \dots, H_m$  по показаниям выхода  $x$  модели объекта. Величины  $Q$  и  $H$  передаются на вход автоматического оптимизатора  $A_2$ , который путем автоматического поиска находит

<sup>1</sup> F. Rosenblatt, Two Theorems of Statistical Separability in the Perceptron, «Symposium on the Mechanization of Thought Processes»; B. Widrow, M. E. Hoff, Adaptive Switching Circuits, «IRE Wescon Convention Record», Part 4, 1960, p. 96—104; K. Steinbuch, Automat und Mensch; См. также «Принципы построения самообучающихся систем», Киев, 1962; У. Р. Эшби, Введение в кибернетику; М. Minsky, Steps toward Artificial Intelligence, «PIRE» N 1, 1961; С. Н. Брайнес, А. В. Напалков, В. Б. Свечинский, Проблемы нейрокибернетики; Э. М. Браверман, Опыты по обучению машины распознаванию зрительных образов, «Автоматика и телемеханика», т. XXIII, № 3, 1962; М. М. Бонгард, Моделирование процесса узнавания на цифровой счетной машине, «Биофизика», т. VI, вып. 2, 1961.

<sup>2</sup> См. А. А. Фельдбаум, Автоматический синтез процессов, алгоритмов и систем, «Известия АН СССР. Энергетика и автоматика» № 4, 1960.

значения  $y_1, \dots, y_q$ , удовлетворяющие условиям (1) и (2). В такой установке каждая проба может занимать 0,1 секунды и менее, причем в качестве одной пробы может фигурировать, например, решение дифференциального уравнения высокого порядка. В процессе нахождения оптимальной схемы управляющего устройства такой автомат может испробовать много тысяч



Р и с. 7.

возможных вариантов, причем он в конце концов выбирает наиболее выгодный из них.

В качестве другого примера рассмотрим установку, разрабатываемую в Imperial College (Лондон) <sup>1</sup>. Ее работа также основана на автоматическом поиске. Ниже характер работы этой установки разъясняется для одного из возможных ее применений — для автоматического синтеза оптимального «предсказателя» (рис. 7). Требуется произвести автоматический синтез аппарата  $P$ , выходная величина  $x'(t)$  которого в текущий момент времени  $t$  в известном смысле наилучшим образом предсказывает будущее значение  $x(t+t')$  стационарного случайного процесса  $x$ , т. е. значение величины  $x$  в будущий момент времени  $(t+t')$ . Величина  $x'(t)$  вычисляется на основании как текущего значения  $x(t)$ , так и наблюдавшихся в прошлом значений процесса, т. е.

$$x(t-\tau), x(t-2\tau), \dots, x(t-n\tau).$$

Итак,  $x'$  является функцией от всех указанных значений

$$x' = x'[x(t), x(t-\tau), \dots, x(t-n\tau)]. \quad (5)$$

<sup>1</sup> D. Gabor, W. P. Z. Wilby, R. Woodcock, An Universal Nonlinear Filter, Predictor and Stimulator which Optimizes itself by a Learning Process, «Proceedings of the Institute of Electrical Engineers», Part B, N 40, July 1961.

Эта функция может быть и нелинейной, а ее характер определяется рядом параметров  $a_i$ .

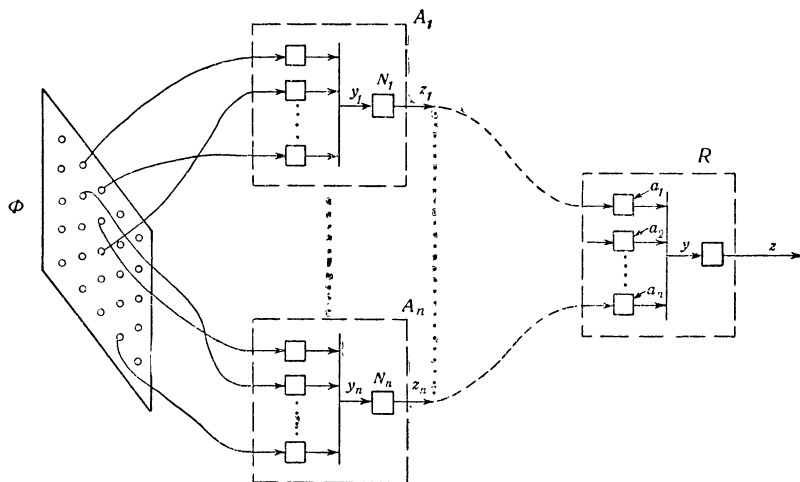
Предварительно на магнитной ленте производится достаточно длительная запись экземпляра случайного процесса  $x(t)$ . Затем конец ленты сшивается с ее началом и полученная таким образом бесконечная лента приводится в равномерное движение, проходя под воспроизводящими головками  $\Gamma^*$ ,  $\Gamma_0$ ,  $\Gamma_1$ , ...,  $\Gamma_n$ . Условимся, что текущее значение  $x(t)$  случайного процесса снимается головкой  $\Gamma_0$ . Тогда с головок  $\Gamma_1$ , ...,  $\Gamma_n$  можно снимать прошедшие ранее под головкой  $\Gamma_0$  значения  $x$  в прошедшие моменты времени, а именно  $x(t-\tau)$ , ...,  $x(t-n\tau)$ . С головки  $\Gamma^*$  можно снимать «будущее» значение  $x(t+t')$ , так как оно лишь через некоторое время  $t'$  подойдет под головку  $\Gamma_0$ . Величины  $x(t)$ ,  $x(t-\tau)$ , ...,  $x(t-n\tau)$  подаются на вход аппарата  $P$ . Коэффициенты  $a_i$  схемы этого аппарата можно изменять автоматически; это может осуществляться автоматическим оптимизатором  $A$ . Выходная величина  $x'(t)$  аппарата  $P$  сравнивается с  $x^*$ , т.е. с показанием головки  $\Gamma^*$ . Это производится следующим образом: величина  $x^*$  пропускается сквозь блок, обозначенный  $-1$ , который изменяет ее знак; путем суммирования  $[-x^*(t)]$  и  $[x'(t)]$  образуется их разность  $\epsilon$ . Если бы величина  $\epsilon$  была равна нулю, то «предсказатель» оказался бы идеальным. Разумеется, это невозможно, и ошибка, вообще говоря, существует. Будем считать критерием величины ошибки, например, среднее значение от ее квадрата  $\bar{\epsilon}^2$ , получаемое путем прохождения  $\epsilon$  через квадратор или множительное звено  $M$  и последующего усреднения в фильтре  $\Phi$ . В схеме, представленной на рис. 7, величина  $\bar{\epsilon}^2$ , вырабатываемая на выходе  $\Phi$ , поступает на вход автоматического оптимизатора  $A$ . Последний путем поиска так изменяет коэффициенты  $a_i$ , что значение критерия  $\bar{\epsilon}^2$  достигает минимума. Тогда будет автоматически получено оптимальное в смысле минимума среднеквадратичной погрешности предсказывающее устройство.

Описанные выше установки могут служить примерами психологического подхода или комбинации математического и психологического подходов. Важным примером физиологического подхода к решению задачи построения устройства для обучения распознаванию образов является так называемый перцептрон<sup>1</sup>. Перцептрон представляет собой модель участка нервной сети, на вход которой поступают сигналы от совокупности «рецепторов», воспринимающих изображение. Выходом перцеп-

<sup>1</sup> F. Rosenblatt, Two Theorems of Statistical Separability in the Perceptron, «Symposium on the Mechanization of Thought Processes».

трона является величина  $z$ , которая может принимать два возможных значения: 0 или 1. Выход перцептрона — это модель эффектора, производящего какое-либо элементарное действие. Модели некоторых пейронов в перцептроне такие же, как на рис. 6 а.

Схема перцептрона представлена на рис. 8. На фотополе, состоящее из множества отдельных фотоэлементов, играющих роль «рецепторов», проектируются изображения двух классов фигур, например треугольников и окружностей либо вертикальных и горизонтальных полос и т. д. Требуется, чтобы перцептрон обучился классифицировать эти фигуры. Это требование



Р и с. 8.

означает, что на фигуры одного класса он должен реагировать, выдавая одно значение, например  $z = 1$ , а на фигуры другого класса реагировать, выдавая другое значение, т. е.  $z = 0$ . Фотоэлементы фотополя  $\Phi$  хаотически, чисто случайно присоединяются ко входам моделей нейронов «первого этажа», обозначенных на рисунке буквами  $A_1, \dots, A_n$ . Эти нейроиды в простейшем варианте перцептрона, описываемом ниже, не регулируемы, т. е. их коэффициенты  $a_i$  неизменны. Выходные величины  $z_1, \dots, z_n$  этих нейронов поступают на единственный нейрон  $R$  «второго этажа», у которого коэффициенты  $a_1, \dots, a_n$  могут изменяться. Выходная величина  $z$  нейрона  $R$  является одновременно и выходной величиной всего перцептрона.

Сначала, перед обучением, перцептрон реагирует «бестолково» на картины, подаваемые на его вход, и дает примерно 50 % ошибочных ответов. Однако в результате обучения процент правильных ответов увеличивается и может быть доведен до 90 % и более (в усовершенствованных схемах перцептронов).

Процесс обучения заключается в следующем. При правильной реакции перцептрона обучающий его человек-оператор не оказывает на перцептрон никакого воздействия. Если же реакция оказалась неправильной, то оператор нажимает кнопку «неодобрения». При нажатии этой кнопки те из каналов  $z_i$  (выходы нейроидов «первого этажа», они же входы нейроида  $R$ ), по которым только что прошли импульсы, изменяют свои коэффициенты  $a_i$  в таком направлении, чтобы произошло приближение к правильной реакции. Пусть, например,  $z = 1$ , между тем как требуется, чтобы было  $z = 0$ . Тогда эффект приближения к правильной реакции достигается, если каналы, через которые только что прошли импульсы, получают отрицательные приращения  $\Delta a_i < 0$ . Если, наоборот,  $z = 0$ , а требуется  $z = 1$ , то знаки приращений  $\Delta a_i$  должны быть противоположны только что указанным.

Опыты показали, что, применяя такой исключительно простой алгоритм торможения неправильных «рефлексов», можно получить существенный эффект обучения. Дальнейшее совершенствование схем типа перцептрона весьма перспективно и в настоящее время является предметом интенсивных разработок.

Интересные идеи, в которых сочетаются физиологический и психологический подходы, положены в основу аппарата пандемониум<sup>1</sup>.

Схема пандемониума содержит, как и схема, представленная на рис. 8, совокупность «рецепторов». В этой схеме производилось обучение распознаванию точек и тире кода Морзе, однако в принципе в ней возможно и распознавание зрительных образов. Нейроиды «первого этажа» содержат лишь по два входа, их коэффициенты не регулируются, звенья  $N_1, \dots, N_n$  в этих нейроидах могут быть нелинейными функциями различного вида от двух переменных. Кроме того, выходные величины некоторых нейроидов «первого этажа» могут подаваться на входы других нейроидов этого же «этажа». Выходы нейроидов «первого этажа» поступают на нейроиды «второго этажа», обладающие регулируемыми коэффициентами  $a_i$ . Выходные величины  $y_i$  (а не  $z_i$ ) нейроидов «второго этажа» подаются на последний блок, служащий для решения и построенный

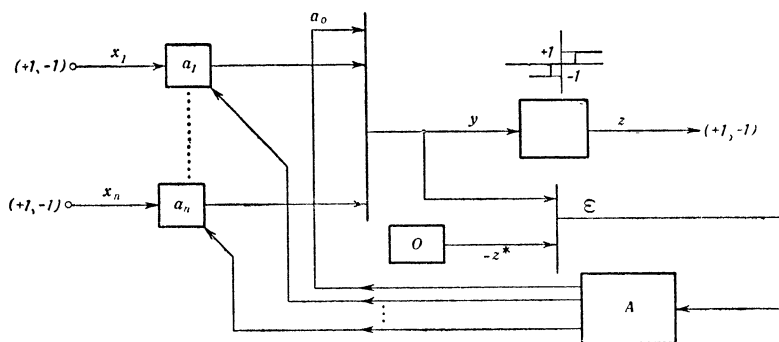
---

<sup>1</sup> P. G. Selfridge, Pandemonium: A Paradigm for Learning, «Symposium on the Mechanization of Thought Processes».

согласно рис. 6 б. Таким образом, на выходе пандемониума появится ответ  $z = 1$ , соответствующий наибольшей из выходных величин  $y_i$  нейроидов «второго этажа».

По-видимому, в аппарате должна вычисляться средняя частота неудач, и коэффициенты  $a_i$  должны автоматически изменяться путем поиска так, чтобы свести среднюю частоту неудач к минимуму. Предполагается, что кроме этого процесса поиска аппарат может производить еще и другой поиск, в «большем» масштабе уничтожая слабо влияющие нейроиды и генерируя новые нейроиды «первого этажа» с новыми нелинейными зависимостями.

Скудость опубликованных данных не позволяет составить ясное представление о результатах практической апробации этих идей.



Р и с. 9.

Простым аппаратом рассматриваемого типа является так называемый адалин<sup>1</sup>. Его схема (см. рис. 9) воспроизводит модель нейрона (ср. с рис. 6а). Допустим, что на входы  $x_1, \dots, x_n$  поступают двоичные сигналы от «рецепторов» (в адалине они могут иметь значения  $+1$  или  $-1$ ). Это означает, например, что на вход адалина подается какая-либо картина, элементы которой могут быть либо черными, что обозначается символом  $(+1)$ , либо белыми, что обозначается символом  $(-1)$ . Необходимо обучить аппарат отвечать реакцией  $z = +1$  на один класс картин и реакцией  $z = -1$  на другой класс, т. е. обучить адалин воспроизведению определенной логической функции входных величин. Выходная величина нейроидов при каких-либо значениях коэффициентов  $a_i$  есть некоторая логи-

<sup>1</sup> B. Widrow, M. E. Hoff, Adaptive Switching Circuits, «IRE Wescon Convention Record», Part 4, 1960, p. 96—104.



ческая функция входных двоичных величин. Но модель одного нейрона не может воспроизводить любую логическую функцию. Поэтому, вообще говоря, неизбежны ошибки в воспроизведении требуемой логической функции. Однако ошибки должны быть путем обучения сведены к минимуму. Обучение состоит в том, что при показе очередной картины человек-оператор  $Q$  подает сигнал о том, каково должно быть идеальное значение  $z^*$  выходной величины. Этот сигнал сравнивается не с  $z$ , а с  $y$ , причем разность

$$\varepsilon = y - z^* \quad (6)$$

поступает в блок  $A$ . Последний (вначале он был заменен в адальне человеком-оператором) автоматически изменяет коэффициенты  $a_i$  ( $i = 0, 1, \dots, n$ ), в том числе и добавочное слагаемое  $a_0$  (см. формулу 3), на некоторую величину  $\Delta a$ , с тем чтобы свести значение  $\varepsilon$  к нулю. Затем на вход адальны подается другая картина, опять производится аналогичная операция сведения  $\varepsilon$  к нулю и т. д. После обучения на нескольких десятках экземпляров адальны сможет служить для воспроизведения логических функций, или, что в сущности одно и то же, для классификации изображений.

Рассмотренные примеры показывают большую ценность психологических и физиологических представлений для конструктора автоматов. Следует, однако, указать, что наиболее сильные результаты достигаются путем комбинации этих подходов с математической обработкой. Математическое обоснование новых принципов может быть облегчено комбинированием теоретического исследования и «проигрывания» процессов на цифровой машине или модели любого типа.

### *Перспективы развития систем автоматического обучения*

Сложность и разнообразие функций автоматических систем возрастают быстрыми темпами. Поэтому значение систем автоматического обучения неизбежно будет расти. Действительно, чем сложнее становятся функции автомата, тем целесообразнее замена труда человека, разрабатывающего детальную структуру или программу его работы, деятельностью автомата, который сам в процессе обучения находит требуемое целенаправленное поведение. Аналогичные тенденции вызываются и растущим разнообразием функций автоматов. В таких условиях наиболее разумным принципом может оказаться построение универсального в известном

смысле автомата, который можно обучать различным видам деятельности и в случае надобности переобучать, переводя с одного вида деятельности на другой.

Так называемые универсальные цифровые машины, которые в действительности вовсе не универсальны в широком смысле слова, явились одним из первых примеров подобных автоматов. В будущем, по-видимому, наряду с совершенствованием сравнительно универсальных автоматов конструкторы разработают также ряд более специализированных машин, пригодных для обучения и переобучения в сравнительно узких сферах деятельности.

В настоящее время процессы обучения, происходящие в автоматических системах, еще чрезвычайно примитивны по сравнению с процессами обучения людей и даже животных. Поэтому моделирование автоматами функций интеллекта является во многих случаях лишь желательной, но пока еще не достигнутой целью. Однако развитие автоматических систем происходит с огромной быстротой, совершенно несоизмеримой с медленным совершенствованием биологических систем. Уже сейчас преимущества автоматов, и прежде всего быстрота и точность, недостижимые для нервной системы человека, начинают дополняться все возрастающей их способностью оперировать в сложных, разнообразных и изменчивых ситуациях. Можно ожидать, например, что через 10 лет автоматы для распознавания образов превзойдут человека в детальной распознавания объектов и умении различать разнообразные картины, хотя сейчас они чаще всего еще уступают человеку в этом отношении. По-видимому, развитие и применение обучающихся автоматов начнет быстро возрастать уже в недалеком будущем. В связи с этим обучение автоматов человеком-оператором, быть может, окажется методом, возможности которого будут лимитироваться недостаточной быстротой реакций человека и его ограниченным умением. Более высокими темпами будут развиваться самообучающиеся автоматы, или автоматы, обучаемые другими, предварительно обученными автоматами.

Каковы перспективы развития указанных выше методов подхода к разработке автоматов — математического, психологического и физиологического?

При обсуждении этого вопроса следует прежде всего подчеркнуть, что все эти методы не конкурируют, а дополняют друг друга. Иногда физиологический или психологический подходы позволяют сдвинуть с места решение задачи, сделать успешные первые шаги. Но в дальнейшем развитии появляется уже почва для применения математического подхода, именно в этом случае обеспечивается наиболее сильное продвижение

вперед. Такой процесс произошел, например, в области обучения распознаванию образов. Первоначальные работы, носившие сильный отпечаток физиологического подхода, сменились в дальнейшем исследованиями, в которых была дана геометрическая картина процесса в многомерном пространстве «рецепторов» или признаков. В последнее время опубликованы труды, в которых развивается статистический подход и предлагаются методы синтеза оптимальных систем обучения распознаванию образов (при заданных признаках), родственные методам синтеза статистически-оптимальных фильтров в других разделах теории связи и управления. Дальнейшее развитие в этой области, по-видимому, будет характеризоваться тесным переплетением различных методов подхода.

Не следует рассматривать эти подходы, и в частности математический подход, как нечто застывшее. Под влиянием взаимодействия с другими подходами и в силу необходимости решения новых задач математический подход будет модифицироваться и развиваться в направлении, позволяющем с его помощью овладевать ситуациями, для которых характерны сложность и неопределенность. В настоящее время еще отсутствуют работы, в которых были бы намечены конкретные пути такого развития. По-видимому, его необходимым условием в плане «дальнего прицела» будет решительный отказ от излишней точности и «дотошности» математического метода, отказ от проникновения в детали процессов. Этот отказ будет еще более решительным, чем был в свое время отказ от изучения единичных явлений, произведенный при разработке статистических методов. Другой чертой математических методов будущего может явиться формализация оперирования с аналогиями, которое служит мощной опорой мышления человека. Эти методы должны быть настолько же шире современных, насколько понятие *сходное* (или *аналогичное*) шире, чем понятие *тождественное*, а понятие *правдоподобность* шире, чем понятие *вероятность*. Но путь к этим новым методам будет, по-видимому, трудным и длительным. В целом овладение ими может означать не меньший переворот в математике, чем тот, какой был произведен в XVII и XVIII вв. появлением исчисления бесконечно-малых. В ближайшее время можно ожидать лишь формирования новых понятий в зачаточном виде. Основой этого процесса будет совершенствование и приспособление к новым задачам тех методов и приемов подхода, которые составляют арсенал современной математики.

Можно выделять различные уровни обучения автоматов по аналогии с различными уровнями обучения живых организмов. В настоящее время процессы обучения автоматов еще весьма

примитивны и могут быть сравнимы лишь с простейшими приемами дрессировки и натаскивания. Возможны ли более высокие уровни обучения? Возможны ли моделирование определенного круга функций второй сигнальной системы в автоматах и связанная с этим выработка общих понятий? Мы полагаем, что в таком моделировании нет ничего невозможного. Мало того, по-видимому, развитие науки и техники идет именно в направлении постепенного повышения уровня обучения автоматов.

На этом пути придется, однако, преодолеть очень большие принципиальные затруднения. Их преодоление связано с подъемом на новую ступень методов подхода к разработке автоматов вообще. Действительно, выше указывалось, что уровни обучения человека можно различать по степени общности тех понятий, которые вырабатываются в процессе мыслительной деятельности при обучении. Высокие уровни обучения характеризуются высокой общностью вырабатываемых понятий, характеризуются выработкой творческих навыков, т. е. методов рационального поиска в сложных абстрактных областях. Что такое вообще творческое мышление? Этот вопрос еще совершенно недостаточно изучен, хотя в имеющихся исследованиях<sup>1</sup> и высказан ряд остроумных и глубоких соображений. Поэтому ограничимся лишь несколькими замечаниями.

Творческое мышление, несомненно, связано с силой и мощностью, логикой и последовательностью дедуктивного метода в мышлении. Именно открытие общих методов подхода к проблемам, возможности вывода частных правил из общих законов обусловили быстрый прогресс ряда наук. Однако сам по себе процесс дедукции частного из общего, совершаемый при помощи готовых правил, отнюдь не может рассматриваться как главное в творческой деятельности. Скорее наоборот, это именно такой процесс, который сравнительно просто может быть автоматизирован и, следовательно, доверен машине. Если бы мыслительные способности оценивались по силе дедукции, например по способности осуществлять длинные цепочки логических заключений, основанных на известных правилах, то неизбежен был бы не только вывод о том, что автоматы мыслят, но также вывод о том, что автоматы мыслят гораздо лучше людей, а люди мыслят очень плохо. Это, однако, неверно, неверно прежде всего потому, что сам по себе процесс дедукции играет лишь вспомогательную роль в творческом мышлении. Ведь и в самой дедукции главное — это открытие системы дедуктивных правил, а оно совершалось отнюдь не дедуктивным путем. В твор-

---

<sup>1</sup> См., например, *Я. А. Пономарев, Психология творческого мышления*, М., 1960.

честве главную роль играет индуктивный, эвристический путь, причем моменты индуктивного и дедуктивного, разумеется, комбинируются, взаимно переплетаются друг с другом.

Автоматы сегодняшнего дня — это в основном *дедуктивные* автоматы. В них заложена готовая система правил, из которой они выводят частные заключения. Но и сегодня уже имеются типы автоматов, например самообучающиеся системы, действия которых носят в значительной мере *индуктивный, эвристический* характер. Конечно, в них также заложен определенный формализм. Но это сравнительно простой формализм, служащий для поиска гораздо более сложного формализма. Несомненно, что развитие будет происходить в направлении разработки новых типов автоматов, более приспособленных, чем машины сегодняшнего дня, к индукции, обобщениям на основе аналогий и ассоциаций, постановке гипотез и их проверке, самостоятельному расчленению одной большой задачи на совокупность отдельных более мелких задач и т. д.

Решению труднейших проблем создания новых типов автоматов будет способствовать, в частности, и более глубокое изучение процессов обучения живых организмов и возможностей их моделирования.

Ю. А. ГАСТЕВ

## **О методологических вопросах рационализации обучения<sup>1</sup>**

Попытки применения идей и методов кибернетики к задачам обучения людей обусловлены рядом серьезных причин.

Обучение представляет собой в известном смысле классический образец процесса управления. Поэтому более чем естественно попытаться применить к задаче построения рациональной теории и методики обучения весь имеющийся уже довольно богатый арсенал «кибернетических» методов.

С другой стороны, известно, что ведущиеся все более широким фронтом работы по «обучению» и «самообучению» автоматических систем наталкиваются на серьезные затруднения, связанные с отсутствием достаточно удовлетворительной теории обучения, основанной на объективных критериях. Конечно, при «обучении» автоматов вовсе не обязательно следовать схеме обучения человека. Однако методику «машинного обучения» все же имеет смысл рассматривать как некоторое приближение (или хотя бы подход) к рациональной методике обучения людей.

Но самым существенным побудительным мотивом к построению теории обучения на кибернетической основе является в конечном счете недостаточная эффективность существующей педагогической науки перед лицом все усложняющихся проблем, которые встают в ходе развития образования. Современная наука и техника обусловили резкое возрастание объема сведений, которые включаются (или должны быть включены) в общеобразовательный минимум; все более дает себя знать

---

<sup>1</sup> После написания статьи вопросы «кибернетизации обучения» продолжали обсуждаться в печати и на специальных конференциях по «программированному обучению».

несоответствие стихийно сложившихся программ и методик обучения специалистов действительным запросам профессиональных квалификаций. Эти задачи не могут быть решены в рамках традиционной описательной педагогики.

Педагогика с давних пор стремилась (и с некоторого времени это стремление стало подкрепляться делом) опираться на данные объективного исследования, главным образом психологического. Думаю, однако, что сами психологи согласятся с тем, что их наука далека еще от возможности предложить хоть сколько-нибудь полную систему «естественнонаучных» критериев обучаемости и обученности. Более чем естественно и своевременно поэтому попытаться применить к педагогике, науке об обучении (частном случае управления), идеи и методы науки об управлении — кибернетики.

В задачу рационализации обучения или же (по соблазнительной и вполне оправданной аналогии с заслуженным именем НОТ) научной организации обучения входит чрезвычайно широкий комплекс проблем. Центральная из них, предreshающая продвижение остальных, — это создание теории обучения, опирающейся на обширный экспериментальный материал, дающей объективные и бесспорные критерии для анализа этого материала и эффективные методы управления сложными и многообразными процессами обучения на каждой их стадии.

К настоящему времени разумная (хотя, быть может, и недостаточно точная) постановка этой задачи подготовлена развитием математики, логики (а отчасти и психологии), установлением общего «кибернетического» подхода к изучению процессов управления, а также созданием мощных средств «кибернетической», то есть электронной вычислительной, техники.

Работы по рационализации процессов обучения на этой теоретической и технической базе, особенно интенсивно развернутые за последние годы в США и в ряде других стран, получили условное название работ по *программированному* (или *программному*) обучению. Этот термин, сам по себе достаточно условный, подчеркивает ту роль, которую играют в современной педагогике, как и вообще в кибернетике, принципы *программирования*, или *программного управления*, лежащие в основе работы современных быстродействующих цифровых вычислительных машин. Идея программирования (программного управления) есть по существу основополагающая идея всех разработок научной организации труда и производства. Аналогично, программированное обучение, т. е. научная организация обучения, призвано приложить принципы программирова-

ния к задаче построения теории и организации обучения, отвечающих современным требованиям.

Несмотря на неизбежное многообразие оттенков в толковании сравнительно нового термина *программированное обучение*, можно констатировать, что к настоящему времени сложилась концепция, общая для большинства этих толкований. Согласно этой концепции, процесс обучения представляет собой (точнее, должен представлять, поскольку работы в области программированного обучения находятся еще в самом начале; эта оговорка подразумевается во всем дальнейшем изложении) строго расчлененный во времени процесс. Это расчленение на так называемые элементарные акты обучения, соответствующие элементарным «порциям» учебной информации, должно производиться не умозрительно и даже не на основе так называемого педагогического опыта, а на основании объективных критериев, обеспечивающих в известном смысле оптимальность такого разбиения. Природа таких критериев может быть весьма различной: логико-математические оценки «элементарности», исходящие из анализа структуры учебного материала, с одной стороны, и психолого-педагогические, оценивающие вероятную успешность отдельного акта усвоения такой элементарной «порции» и прочности усвоения последовательности «порций» — с другой. Фактически и те и другие методы обычно применяются не в чистом виде, а в некотором сочетании. Эти сочетания могут быть весьма разнообразны, в связи с чем об «оптимизации» указанного членения учебного материала (а тем более об оптимизации процесса обучения в целом) следует говорить с осторожностью. Руководящий тезис программированного обучения состоит не в утверждении единственности такого «наилучшего» разбиения (в связи с более чем гипотетической формализуемостью процесса обучения в целом такой тезис был бы просто ошибочным), а в признании принципиальной возможности произвести разбиение с точки зрения некоторой фиксированной совокупности выбранных критериев и возможности найти такие объективные (в точно оговоренном смысле) критерии. Следует также помнить, что содержание, структура (упорядочение) и форма изложения учебного материала могут значительно варьироваться в зависимости от цели обучения, которая, впрочем, сама может быть, по-видимому, всегда переформулирована в «бихевиористических» терминах психологии и «алгоритмических» терминах логики.

Следующей важнейшей чертой программированного обучения является требование эффективного контроля усвоения каждой элементарной «порции», причем, вообще говоря, именно



немедленного контроля, гарантирующего в случае успешного усвоения немедленное же продвижение вперед по «программе», а в случае неуспеха — немедленное повторение или разъяснение. Обращаясь к производственной аналогии, можно было бы назвать этот принцип «принципом пооперационного контроля» в отличие от контроля «приемочного», которым вынуждена, как правило, довольствоваться современная педагогическая практика. Не трудно видеть, что эффективность контроля в программированном обучении существенно связана с тем, насколько последовательно проведено в жизнь расчленение материала. С другой стороны, именно осуществление контрольных функций в обучении обуславливает применение в программированном обучении так называемых обучающих машин, с которыми часто, хотя и без достаточных оснований, связывают всю концепцию программированного обучения.

Наконец, важнейшим признаком программированного обучения служит индивидуализация схемы обучения каждого обучаемого, осуществляемая (в силу сделанной выше оговорки здесь и во всех аналогичных местах следовало бы, конечно, говорить «которая должна осуществляться») в процессе массового (одновременного) обучения группы учащихся. Именно возможность такой индивидуализации преследуется намеченной выше схемой индивидуального пооперационного контроля усвоения. Существующая педагогическая практика в прямом противоречии с закликаньями о желательности «индивидуального подхода» всегда вынуждена ориентироваться на так называемого среднего ученика. Следует отметить, что понятие «средний ученик», строго говоря, есть фикция: даже если бы кому-либо и удалось построить точную «шкалу способностей» некоторого коллектива людей<sup>1</sup>, то в лучшем случае выбранный темп педагогического процесса соответствовал бы способностям не более чем одного ученика, если, конечно, не рассчитывать на случайное совпадение нескольких «уровней способностей» (для разумного же усреднения таких «уровней» пока не видно достаточно объективных оценок). Легко видеть, что даже при столь идеализированных предположениях «способности» неправомерно отождествляются со скоростью усвоения, так что и в идеальной ситуации вероятность «точного» одновременного приспособления какой-либо схемы обучения и ее темпа хотя бы к одному обучаемому пренебрежимо мала. Практически каждый обучаемый либо «слабее»,

---

<sup>1</sup> Именно безосновательность подобных претензий так скомпрометировала в свое время педологию.

либо «сильнее» мифического «среднего» (либо, наконец, — и это наиболее трудный для анализа, но тем более важный случай — и «слабее», и «сильнее» в одно и то же время). О непродуктивности обучения первой категории учеников в такой ситуации нечего и говорить. Не менее неприятным является тот факт, что «сильные» ученики не только непроизводительно тратят часть своего учебного времени, но, что еще хуже, в большей или меньшей степени испытывают развращающее влияние вынужденного систематического безделья. Лишь после разумного «программирования» обучения разговоры о желательности того, чтобы каждый обучаемый продвигался по программе наиболее подходящим для него путем и свойственным ему темпом, смогут приобрести реальный смысл.

Все вышесказанное подводит нас к пониманию концепции программированного обучения как обучения, эффективно управляемого. Всегда считалось само собой разумеющимся, что любой педагог в меру своих способностей, знаний, умения, темперамента, ума, обаяния, опыта и т. д. так или иначе «влияет» на каждого ученика. Но это влияние так же отличается от управления в точном смысле этого слова, как фабричная мастерская прошлого века (в которой мастер, игравший в значительной степени роль надзирателя, уж конечно же «влиял» на подчиненных ему рабочих) от современного предприятия, где автоматизирована не только технология, но и контроль, учет и планирование. Программированное же обучение оказывается именно программированным в самом буквальном смысле этого слова, в смысле (употребляемом, например, в применении к станкам или автоматическим линиям) «с программным управлением». Программа процесса обучения понимается теперь не как обычная школьная программа, имеющая характер приблизительного описания (причем описания не действий участников процесса обучения, а желаемых результатов этого процесса), а как далеко идущая аналогия программы вычислительной машины. Разумеется, «точное» следование программе (в этом смысле) отнюдь не означает «шаблонного применения схемы» (опасение, часто относимое по недоразумению не только к программированному обучению, но и вообще к решению задач, запрограммированных тем или иным образом).

Индивидуальные особенности каждого обучаемого, проявляющиеся в его реакциях в каждый момент обучения, — это и есть те «начальные данные» (еще точнее, «дополнительно вводимые текущие параметры»), которые через многочисленные «команды передачи управления», характерные для обучения по «программированному методу», определяют индивиду-

дуальные пути и способы, которыми учащиеся «решают» свою общую «задачу» — научение.

Вообще — и это следует подчеркнуть — программированное обучение не только не предполагает каких-либо новых дидактических тезисов, но по сути дела само целиком опирается на общепринятые (точнее, общеприемлемые) положения психологии и педагогики. Это весьма отрадное обстоятельство имеет и методологическое значение, показывая, в частности, неоправданность поспешного противопоставления программированного обучения разумным тенденциям, проявляющимся в «традиционных» методах обучения. Новым (причем действительно новым!) в программированном обучении являются не столько провозглашенные им задачи (они-то в общем достаточно очевидны), а признание принципиальной возможности их решения с помощью построения подходящих к каждому конкретному случаю схем программного управления.

Привычное для педагогики требование «систематичности» изложения не является в программированном обучении самоудовлетворяющим; оно выступает как неотъемлемое условие осуществимости запрограммированного процесса обучения: уж что-что, а программа вычислительной машины поневоле «систематична», причем систематична, так сказать, в принудительном порядке. Не менее известный атрибут хорошего обучения — «доступность» — здесь уже не абстрактная «доступность для среднего ученика», а могущая быть гарантированной объективной оценкой доступности элементарной порции программного материала для каждого обучаемого (в свою очередь «доступной» для эффективного контроля, неудовлетворительный исход которого приводит к отсылке к «разъясняющей подпрограмме»).

В свете вышеизложенного можно было бы сказать, что программированное обучение — это совокупность идей, методов и средств научной рационализации обучения, осуществляемых на основе последовательного применения к управлению процессами массового обучения принципов программного управления.

В какой же мере осуществима концепция программированного обучения и каковы возможные средства ее реализации? Какова роль педагога в программированном обучении? Какова сфера применения программирования, его место в ряду других возможных методов рационализации обучения? Что в этой области уже сделано, что предстоит сделать? Какова проблематика работ в этом направлении? Перспективы?

Отвечая на эти вопросы, следует прежде всего сказать, что ставить задачу рационализации и даже программирования обучения разумно в той же мере, что и говорить об автоматизации любой человеческой деятельности. Ставить заранее какие-

либо пределы возможностям такой рационализации значило бы признать принципиальную «неописуемость», «немоделируемость», т. е. непознаваемость, процесса обучения и впасть тем самым в агностицизм и мистику<sup>1</sup>.

Но при всей привлекательности такого чисто гносеологического «решения» вопроса оно не может нас удовлетворить по очень простой причине: ведь мы интересуемся не только и не столько принципиальной возможностью «моделировать» некоторые «процессы», так сказать, вне времени и пространства. Мы хотим знать, какие конкретные результаты могут в практически приемлемое время принести попытки «программировать» процесс обучения; хотим знать, что и как можно «программировать»: работу педагога-инструктора? деятельность учеников? или и то и другое? Или, наконец, педагог вообще не нужен, коль скоро программу можно вложить в подходящую машину?

Необходимо, таким образом, перейти к конкретно-практической постановке вопроса. Что толку в принципиальной моделируемости любого сколь угодно сложного мыслительного процесса, в том числе и процесса обучения, если это «принципиальное моделирование» должно само опираться на конкретное (именно конкретное, а не принципиальное!) решение массы задач, трудность которых во многих случаях такова, что при настоящем уровне наших знаний мы не видим к ним пока никакого реального подхода? К числу таких задач, например, относится целый комплекс лингвистических вопросов (очень родственных проблеме машинного перевода), встающих при попытках организовать непосредственное «общение» человека и «обучающей» машины.

Однако если оставить кажущиеся пока утопичными проекты «полной кибернетизации» обучения, то подходы к задаче программирования обучения представляются достаточно реальными. Весьма поучительный опыт такого подхода представляют собой работы по научной организации обучения, которые велись в нашей стране еще в первые годы Советской власти. В 20-х годах Центральный Институт Труда (ЦИТ) в Москве проводил интересную работу по разработке и практическому внедрению системы массовой, краткосрочной и рациональной подготовки кадров рабочих различной квалификации.

---

<sup>1</sup> Разумеется, «моделируемость», о которой здесь идет речь, вовсе не предполагает полной формализуемости, на которую, как уже отмечалось, рассчитывать в применении к обучению не стоит. Вообще по отношению к процессам, представимым при помощи детерминистских (а не стохастических) моделей, сам термин *обучение* представляется не особенно уместным.

Стремясь как можно последовательнее осуществлять «принцип программирования»<sup>1</sup>, в ЦИТе подходили к задаче рационализации процесса обучения как к задаче рационализации массового производства. Иначе говоря, обучение рассматривалось как подлежащий рационализации «технологический процесс» (по обработке «сырья», т. е. необученных людей, до стадии «готового продукта» — работников определенной профессии и квалификации).

Первым и центральным вопросом цитовских исследований был вопрос о содержании каждой конкретной профессии. Систематизация и анализ рабочих операций, характерных для каждой категории работников, позволили, с одной стороны, построить квалификационные характеристики профессий, а с другой — так называемые нормы операций и соответствующих им трудовых приемов. Квалификационные характеристики составлялись в предельно конкретных терминах: не просто «слесарь» или «токарь», а «слесарь 5-го разряда» или «токарь 4-го разряда», причем в перечень умений этого «слесаря 5-го разряда» входили не просто «рубка» или «опиловка», но «рубка по... (название материала и толщина) со скоростью... (норма времени на единицу длины) с точностью... (допустимые отклонения, относительные и абсолютные)» и аналогично для опиловки и других операций, совокупность которых вместе с так же точно предусмотренными и сформулированными организационными навыками и умениями и составляла данную «характеристику».

Достижение определенной квалификации (выраженной в характеристике) и объявлялось точной целью обучения. Само обучение велось по инструкциям. Использовались как «инструкции для инструкторов», так и «инструкции для инструктируемых»<sup>2</sup>. Ими, и только ими, регламентировалось поведение каждого участника процесса обучения. «Инструкции для инструктируемого» состояли обычно из прямых указаний («команд»), на долю же инструктора оставалась главным образом организация всего «учебно-производственного потока» (своего рода «дежурный программист», или «наладчик»). Фактически, конечно, отдельные команды инструкций, несмотря на явно

---

<sup>1</sup> Цитовская терминология, как легко понять, была очень далека от современной, но общие идейно-методологические установки ЦИТа и сейчас звучат удивительно свежо.

<sup>2</sup> Подлинные инструкции, методики и аналитические графики операций см. в кн.: *А. К. Гастев*, Трудовые установки, М., 1927; *Е. А. Петров*, Метод обучения ЦИТа, М. — Л., 1932, и в журналах «Установка рабочей силы» и «Организация труда» (выходили с перерывами с 1921 по 1938 г.).

выраженную тягу цитовцев к «кибернетике»<sup>1</sup>, составлялись на уровне «здорового смысла» на основе эмпирического анализа реальных трудовых движений опытных квалифицированных рабочих, стоявших во главе групп курсантов. Стремление получить как можно более объективные критерии для построения программ, выразившееся в организации в ЦИТе целого комплекса технических и биологических лабораторий (многие из которых вели очень интересные исследования<sup>2</sup>), не могло быть, конечно, сколько-нибудь полно реализовано в те времена как в силу недостаточности данных физиологии (и тем более психологии), так и из-за технической бедности контрольной и измерительной аппаратуры. Действительно замечательным в методе ЦИТа (распространившем впоследствии сферу своего применения с рационализации обучения на проблемы организации труда и производства, техники и организации управления, агрегатирования в станкостроении) была удивительно развитая культура анализа, технического и организационного. Именно этот высокий уровень аналитических разработок (в основе которых лежало глубокое знание и понимание производства), обеспечивший жизненность цитовских рекомендаций в те далекие годы, дает ценный и поучительный материал для всех интересующихся практическим осуществлением всякого рода «принципов программирования», причем не только в области обучения.

Цитовские инструкции, безусловно, были прообразом теперешних «программированных учебников»<sup>3</sup>. В программированных учебниках, во всяком случае в тех из них, которые построены по так называемым разветвленным программам<sup>4</sup>, осуществляется новый (по сравнению с ЦИТОм и другими работами

---

<sup>1</sup> Они, правда, называли эту тогда едва намечавшуюся и усиленно пропагандировавшуюся ими тенденцию «социальной инженерией»; этот типичный для той эпохи термин должен был отражать тот факт, что объектом «инженерного расчета» становилось человеческое поведение.

<sup>2</sup> См., например, сборники «Исследования ЦИТ», вып. 1 и 2, 1923—1924; более поздний обзор дальнейшего развития некоторых из этих работ, предвосхитивших ряд идей кибернетики и выполненных школой Н. А. Бернштейна, содержится в его статье «Очередные проблемы физиологии активности», «Проблемы кибернетики», вып. 6, 1961 (с библиографией).

<sup>3</sup> Разумеется, речь идет не о буквальной преемственности; идея программирования еще со времен Тейлора настолько характерна для всех серьезных исследований по НОТ, что здесь стоит ставить вопрос не о приоритетах, а о прослеживании и развитии этой идеи (ср. Н. Винер, *Кибернетика и общество*, стр. 155).

<sup>4</sup> Инструкции ЦИТа гораздо больше напоминают так называемые линейные программы Скиннера.

начала века<sup>1)</sup> принцип — обратная связь. Усвоение учебного материала, изложенного в цитовских инструкциях, мыслилось, если можно так выразиться, «принудительным»: «пооперационный контроль» предназначался не столько для выбора вариантов внутри программы, сколько для усовершенствования всей программы в целом. В программированных же учебных текстах разветвленного типа контрольные функции программы являются одновременно и управляющими: разумная (по отношению к какому-либо критерию) система тестов позволяет рассматривать различные возможные ответы на них<sup>2</sup> как «признаки», в соответствии с которыми «команды условного перехода» и «переадресации» определяют план дальнейшего продвижения по программе.

Никого, конечно, не удивит то обстоятельство, что «программирование обучения» по методу ЦИТа осуществлялось без применения «обучающих машин» (хотя одна из первых машин такого рода — «экзаменатор» С. Пресси — была изготовлена в 1926 г.). Правда, очень большое значение придавалось тогда использованию всякого рода тренировочных приспособлений для обучения трудовым движениям. Все такие (и подобные им, но гораздо более совершенные) «тренажеры» получили в дальнейшем очень широкое применение при подготовке шоферов, летчиков, космонавтов и других, не связываемой с каким бы то ни было «принципом программирования». Однако по существу такая «малая кибернетизация» весьма способствует осуществлению именно кибернетических тенденций в педагогике (то же можно сказать о применении в обучении средств малой механизации управления на производстве, так называемой оргатехники).

В последние годы в зарубежной и нашей печати большие надежды возлагаются на построение и усовершенствование всевозможных электронных «экзаменаторов», «репетиторов», «автотьюторов»<sup>3</sup>, «тренажеров» и т. д.<sup>4</sup> Конечно, все, что мы уже

---

<sup>1</sup> В этой связи нельзя не вспомнить здесь как непосредственную предшественницу ЦИТа итальянского педагога Марию Монтессори с ее замечательными программами обучения отсталых детей (см. А. К. Гасцев, Трудовые установки, стр. 72—74).

<sup>2</sup> Несмотря на многочисленные оговорки, практически во всех современных программах выбор правильного ответа производится из фиксированной совокупности возможных ответов, т. е. работает «схема совпадений».

<sup>3</sup> *Auto tutor* — буквально самоучитель, авторепетитор.

<sup>4</sup> См., например, статью Л. Н. Ланда «О кибернетическом подходе к теории обучения» («Вопросы философии» № 9, 1962) и обзор «Опыт применения машин для обучения в США» («Зарубежная радиоэлектроника» № 9, 1962; с большой библиографией). Весьма корректное изло-

умеем «программировать», можно поручить и машине. Но умеем-то мы пока еще мало. И не техника тут тормозит, а наше незнание, что и как «программировать». Интересные же и полезные дискуссии на тему о том, может ли машина обучать (мыслить и т. п.), имеют к обсуждаемому вопросу не более прямое отношение, чем закон сохранения энергии к проблеме увеличения к.п.д. телеги.

Что касается перспектив применения в программированном обучении универсальных цифровых машин, то основная их роль на нынешнем этапе педагогических изысканий — служить орудием исследования в разработке методов программирования, роль, которая в связи с большим объемом статистического материала, могущего быть накопленным в процессе опробования и улучшения программ, может оказаться принципиально недоступной для других, «ручных» методов. Любой же разговор о желательности того, чтобы универсальные машины «внедрялись в практику» отечественного программированного обучения, на сегодняшний день в лучшем случае маниловщина.

В довольно обширной уже литературе о программированном обучении усиленно дебатруется вопрос о сфере его будущей применимости; при этом, с одной стороны, возможности его часто ограничивают научением «простейшим навыкам», с другой стороны, возлагают поистине безграничные надежды на «мощь кибернетики». После сказанного не хотелось бы задерживаться на обсуждении этого глубокого расхождения во взглядах. Осуществимость задачи «программирования» обучения имеет смысл в каждом конкретном случае рассматривать отдельно. Легко, например, представить полностью «запрограммированное» обучение машинописи, осуществляемое вообще без участия педагога (и такие программы уже созданы<sup>1</sup>). Но вряд ли стоит серьезно говорить об автоматизации, скажем, процесса нравственного или идеологического образования. Эти примеры лишь крайние случаи. В подавляющем большинстве промежуточных ситуаций уже сейчас имеет смысл ставить задачу частичного «программирования». Степень подготовленности к решению этой задачи зависит как от самой изучаемой дисциплины, так и от состояния методики программиро-

---

жение проблематики и результатов, относящихся к «обучающим» машинам, содержится в книге С. Бира «Кибернетика и управление производством», М., 1963 (гл. 14 и отчасти 15) и в статье Г. Паска «Обучающая машина» («Автоматизация производства и промышленная электроника», т. 2, М., 1963).

<sup>1</sup> Сравни, например, описание «обучающей» машины Г. Паска в книге С. Бира «Кибернетика и управление производством», стр. 162—166.



ванного обучения в целом и, наконец, от задач (целей), которые ставятся перед обучаемым: воспитание ли это навыков-автоматизмов (что легче всего), запоминание фактических сведений (что также, по-видимому, не вызовет больших затруднений) или привитие «умений» различной степени сложности вплоть до умения решать сложные мыслительные задачи. Не следует преуменьшать трудности программирования решения задач последнего типа. Но совершенно безнадёжны были бы и любые попытки заранее ограничить возможности программирования обучения в этом направлении; во всяком случае эти границы будут отодвигаться все дальше и дальше. Впрочем, как уже не раз отмечалось, гносеологическое «решение» этой проблемы стоит не многого. Практических же подходов к ней пока не видно.

Какова роль педагога в программированном обучении? Не говоря уже об эстетическом или, допустим, нравственном воспитании, педагог отнюдь не устраняется даже из «полностью запрограммированного» процесса. Обращаясь снова к аналогии с цифровыми машинами, можно условно сказать, что учитель будущего — это «программист». Понятно, конечно, что этот термин уместен по отношению к любому автоматизированному (хотя и не обязательно механизированному) производству; аналогия здесь настолько прозрачна (конечно, речь идет именно об аналогии, а не о буквальном понимании слова *программист*), что, пожалуй, подробнее о функциях будущего «наладчика педагогического конвейера» можно и не говорить. Похоже во всяком случае на то, что в будущем (вероятно, достаточно близком) слово *педагог* будет по существу означать уже новую профессию.

Теперь о месте программированного обучения в ряду других методов педагогики. Если отвлечься от такого прозаического обстоятельства, как пропасть, лежащая между принципиальными и практическими решениями задачи, то можно вполне согласиться с мнением, что программированное обучение по мере его разработки будет все более и более (неограниченно) расширять сферу своего приложения, рассматривая другие методы педагогики как своего рода эвристические (и часто очень полезные) подходы к задаче. В самом деле, если закономерности какого-либо процесса «познаны», то почему бы его не «запрограммировать»? Другое дело — вопрос о целесообразности программирования. Обратимся опять к аналогии. Общеизвестно, что центральным направлением современной технической политики является курс на комплексную автоматизацию производства. Но так же общеизвестно, что в автоматизации конкретных производств соблюдается разумная очередность. Бо-

лее того, совсем не очевидна целесообразность сплошной автоматизации всего и вся. Есть вполне обоснованные соображения — технические и особенно экономические, ставящие под сомнение необходимость автоматизации на данном этапе (и в обозримом будущем) отдельных производственных предприятий и даже целых отраслей. То же и в обучении, только тут на первый план помимо экономической выдвигается, так сказать, «педагогическая» целесообразность (например, «мелкосерийность» или даже уникальность каких-либо стадий или отдельных функций педагогического процесса), а кроме того (как и в производстве), целесообразность социальная, политическая и т. д. И подобно тому как курс на автоматизацию вовсе не предполагает свертывания работ по рационализации неавтоматизированного производства, которые (во всяком случае пока) имеют даже больший объем, развитие генерального направления работ по рационализации обучения (по его программированию) не только не означает свертывания «традиционных» методов, но еще долгое время (если не всегда) будет «сосуществовать» и даже «сотрудничать» с ними.

Проблематика научно-исследовательских работ по рационализации обучения имеет два основных аспекта, которые условно можно назвать психологическим (я не говорю «педагогическим», поскольку этим словом можно охарактеризовать всю задачу) и логико-математическим. Роль этих аспектов, безусловно связанных друг с другом, существенно различна. В идеале будущего (и неизвестно, близкого ли) основным должен бы стать первый аспект, ведь речь идет об обучении людей. Но при современном состоянии научных знаний о человеке есть основания полагать, что математики (и логики) могут уже сейчас работать над созданием приближенных (в различных смыслах и степенях) «моделей обучения», не откладывая эту работу в ожидании рекомендаций психологов (конечно, очень желанных, поскольку есть надежда, что они смогут приоткрыть хотя бы некоторые из крышек «черного ящика», каковым предстает перед любым непредвзятым исследователем объект обучения — человек).

Следует заметить, что часто употребляемый термин *алгоритм обучения* способен породить неоправданные надежды на возможность сплошной «алгоритмизации» существенных стадий процесса обучения, хотя бы в рамках некоторой модели. Между тем решающая роль будет, очевидно, здесь принадлежать не столько логико-алгоритмическим, сколько стохастическим (игровым) моделям. Есть основания думать, что весьма перспективным по отношению к интересующей нас задаче окажется, например, представление о «хорошо организованных

функциях», введенное И. М. Гельфандом и М. Л. Цетлиным<sup>1</sup>.

Конечно, любая теоретическая модель подлежит «проигрыванию» на конкретных, экспериментально программируемых курсах. Одним из наиболее удобных объектов такого эксперимента представляется обучение программированию на универсальных цифровых машинах, поскольку естественно ожидать, что в данном случае анализ структуры учебного материала (хотя бы в терминах «хорошо организованных функций») прольет свет и на характер требований, которые имеет смысл предъявить к разумной организации самого процесса обучения.

Впрочем, мы так мало знаем о природе этого процесса, что решение частных, конкретных задач его рационализации (далеких от «программирования») на теперешней стадии имеет все шансы оказаться гораздо плодотворнее и во всяком случае должно предшествовать построению какой бы то ни было общей («кибернетической») «модели обучения». Автор далек от мысли претендовать на что-либо большее, нежели самый общий обзор по существу очевидных фактов и соображений. Точная постановка задачи еще впереди.

---

<sup>1</sup> «Успехи математических наук», т. XVII, № 1 (103), 1962. Возможным применением этого понятия к задаче «программирования» обучения посвящен доклад М. А. Пробста на II Всесоюзной конференции по автоматизации обработки научной информации (15 мая 1963 г.).

Н. Г. БРУЕВИЧ

## **О некоторых вопросах автоматизации умственного труда**

Важнейшее условие победы коммунистического строя состоит в том, чтобы значительно превзойти наиболее развитые капиталистические страны по производительности труда. В век органического соединения науки с производством и быстрых темпов научно-технического прогресса особенно важно иметь высокое качество и большую производительность умственного труда. Для этого следует подбирать талантливые кадры и развивать автоматизацию в области интеллектуальной деятельности.

Основой современной автоматизации умственного труда являются вычислительная техника и математика, математическая логика и кибернетика. Математические машины превосходят человека в выполнении ряда функций. Так, скорость и точность выполнения вычислительными машинами арифметических операций не достижима для человека. Вычислительные машины, действуя по программе, составленной человеком, численно решают разнообразные и весьма трудные математические задачи. Они могут выполнять сложный логический анализ и синтез, относящийся к различным отраслям знания. Принцип моделирования позволяет быстро и прямо получать на моделирующих математических машинах решения сложных систем уравнений.

С помощью вычислительных машин можно выполнять глубокие исследования вопросов естествознания, техники, экономики. Вместе с тем эти машины позволяют обоснованно выбирать приближенные методы решения конкретных вопросов. Для этого на машине решают точные системы уравнений при разных начальных условиях, разных граничных условиях и разных значениях постоянных параметров. Затем упрощают системы уравнений исходя из требований: составление

и решение такой системы должно быть возможно простым; отклонение решения приближенной системы от решения точной в выбранной области изменения условий должно быть не больше заданных величин.

Процессы, происходящие в вычислительной машине, имеют логический характер. Машина не приспособляется к новым ситуациям так полно и легко, как человек. В самом деле, сильные стороны человеческого мозга по сравнению с вычислительными машинами состоят в том, что мозг способен одновременно обрабатывать большое количество информации, выбирая довольно правильно достоверные и существенные для данного вопроса части ее и отбрасывая все ненужное в данном конкретном случае; он способен придти к достаточно правильным решениям на основе недостаточной информации; он может изменять поведение организма при изменении общей обстановки; он способен к индуктивным выводам. Указанные свойства можно кратко характеризовать словами: человек мыслит содержательно, а не формально.

Расширение области применения вычислительных машин связано с заменой в какой-то мере содержательного мышления, существующего у человека, машинным выполнением формальнологических операций. Эта задача в настоящее время постоянно по частям решается учеными и инженерами, и не видно каких-либо убедительных оснований для тезиса об исчерпанности возможностей машин в этом отношении. Расширение области применения вычислительной техники требует, конечно, удачных творческих выдумок, нуждается в появлении новых идей и т. п.

Сейчас поставлены вопросы, может ли машина думать, не станут ли машины врагами человека. Речь идет о машине ближайшего или более отдаленного будущего, которая получится в итоге развития и чрезвычайного усложнения современных вычислительных машин. Нам не ясно, как можно осуществить в машине процессы, аналогичные содержательному мышлению человека, если последнее нельзя заменить формальнологическим. Что касается опасений, связанных с будущим развитием машин, то по поводу этого можно сказать следующее. История знает много случаев, когда машины использовались во вред людям. Все дело здесь коренилось в классовой структуре капиталистического общества. Социализм исключает такое использование машин. По поводу же возможности в будущем объединения машин и их выступления против человечества ничего определенного сказать нельзя, так как сейчас нет никаких данных для научной постановки и обсуждения этого вопроса.

Ниже мы кратко коснемся состояния двух проблем: *проблемы автоматизации поиска математических доказательств* и *проблемы автоматизации научной деятельности в области машиноведения и инженерного труда при проектировании*.

В течение ряда лет обсуждается вопрос, можно ли составить такую программу работы вычислительной машины, по которой машина осуществляла бы математические доказательства. Так как в разработке доказательств большую роль играет интуиция, догадка и опыт математика, то успешное создание программ такого рода явилось бы существенным расширением применения вычислительных машин с целью автоматизации умственного труда. По этому вопросу среди математиков существуют различные мнения. Важно, однако, то, что первые успешные шаги уже сделаны: составлены программы, применяющие метод отгадывания (эвристические программы), а также программы, имеющие в своей основе удачно подобранный алгоритм.

Между вычислениями и доказательствами существуют значительные различия: в вычислениях мы имеем дело с числами, в доказательствах — с предложениями; правила вычислений более точны, чем правила, применяемые при обычных доказательствах; процедуры выполнения вычислений всегда конечны и более эффективны, чем правила выполнения доказательств. Отсюда возникают трудности в автоматизации доказательств. Основой автоматизации поиска доказательств служит математическая логика. Большое значение имеют комбинированные возможности математической логики и вычислительных машин. Машина может точно действовать при наличии огромного количества деталей и вариантов в доказательствах, введенных в нее посредством программы вычислений; в результате она может получить существенные новые результаты. Человек в таких условиях не способен точно действовать.

Сначала были составлены программы для автоматизации доказательств из области математической логики. Программы были испытаны на доказательствах теорем, взятых из известного труда А. Н. Уайтхеда и Б. Рассела «*Principia mathematica*». Первые 200 теорем этого труда были доказаны вычислительной машиной за 37 минут. Следующие 150 теорем книги можно доказать с помощью усовершенствованной программы приблизительно в течение 80 минут<sup>1</sup>.

---

<sup>1</sup> См. Ван Хао, На пути к механической математике, «Кибернетический сборник» № 5, 1962, стр. 117—118.

Создание программы для доказательства вычислительной машиной теорем геометрии представляет собой другое важное достижение<sup>1</sup>. Эта программа сходна с предыдущими программами в том отношении, что в ее состав входит алгоритм, предназначенный для работы с формальными системами. В программу также входит другой алгоритм, называемый «схемой» и предназначенный для координатного представления условий теоремы и промежуточных результатов по правилам аналитической геометрии. Алгоритм может выполнять ряд операций по качественному описанию схем. Последовательности аналитических соотношений, описывающих доказательство теорем, сопоставляются с их координатными представлениями — схемами. Программа отбрасывает положения, не подтверждающиеся в соответствующих схемах. Машина, таким образом, ведет себя так, как будто она способна строить необходимые чертежи, рассматривать их и делать на основе изучения чертежей заключения относительно тех или иных утверждений.

В области математического анализа также имеются возможности автоматизации решения задач на вычислительных машинах<sup>2</sup>. Известно большое число математических задач, решение которых требует только соблюдения определенных, раз навсегда установленных правил, при выполнении которых не обязательно вникать в суть задачи. Таковы, например, тождественные преобразования буквенных алгебраических выражений; дифференцирование сложных выражений, состоящих из элементарных функций; вычисление неопределенных интегралов, которые можно взять точно; решение некоторых классов дифференциальных уравнений, содержащих те или иные буквенные параметры, и т. д. Во всех перечисленных случаях задача состоит в том, чтобы вычислительная машина давала решение в буквенном, а не в числовом виде.

При ближайшем рассмотрении оказалось, что существующие в математике правила решения, вполне удовлетворительные для человека, являются в отдельных случаях неясными, неоднозначными для вычислительной машины. Дело заключается в том, что для правильного понимания формулировок задач и правил решения человек может использовать свой опыт и знания. Поэтому необходимо создать специальные алгоритмы решения задач, используя существующие правила. Алгоритмы будут положены в основу составления программ

---

<sup>1</sup> См. *В. Рейтман*, Разработка программ для решения интеллектуальных проблем, «Зарубежная радиоэлектроника» № 1, 1962.

<sup>2</sup> См. *Л. А. Калужнин*, Об алгоритмизации математических задач, «Проблемы кибернетики», вып. 2, 1959.

решения математических задач на вычислительных машинах. Эти проблемы не являются тривиальными.

Значение упомянутых нами работ состоит в том, что показаны возможности применения вычислительных машин в новой, широкой области исследований.

В настоящее время существует разрыв между значительной степенью автоматизации производственных процессов и низким уровнем автоматизации умственного труда в научно-технической и инженерной областях. Производительность умственного труда значительно отстает. Сейчас мы остановимся на вопросах автоматизации научной деятельности в области машиноведения и инженерного труда при проектировании.

Еще раз заметим, что вычислительные машины позволяют численно решать весьма сложные системы уравнений, описывающие поведение различных приборов, машин и устройств при внешних воздействиях. Тем самым открывается возможность более глубокого познания процессов, происходящих в машинах и приборах. Так, например, с помощью вычислительных машин можно решать задачи динамики машин, состоящие из классификации машин с точки зрения их динамики и из решения уравнений для каждого из полученных таким образом классов. Напомним, что классификация задач динамики механизмов и составление уравнений для каждого из классов были выполнены более четверти века тому назад, однако сами уравнения оставались нерешенными. Теперь можно указать алгоритмы решения этих уравнений и дать соответствующие программы вычислений или же предложить упрощенные системы уравнений, которые, может быть, решаются без использования машин.

В настоящее время открываются возможности, так сказать, «физического» моделирования на вычислительных машинах ряда важных задач из области техники. Следует подчеркнуть, что речь идет о моделировании, в основе которого не лежат составленные человеком уравнения. «Физическое» моделирование открывает огромные возможности выполнения экспериментов не в натуре, а на вычислительных машинах, что гораздо проще, требует меньше времени и средств. Что касается натуральных испытаний, то их производят с целью окончательных контрольных проверок.

Вот первый пример. Требуется установить связь между надежностью и долговечностью машины, т. е. ответить на вопрос, как будет изменяться процент исправных машин или приборов в течение всего промежутка времени, равного заданной долговечности. Попытаемся решить этот вопрос путем моделирования на вычислительных машинах. Нам нужно



знать надежность машин, прошедших один, два ремонта и т. д. Далее следует знать закон распределения, определяющий вероятность того, что в течение такого-то промежутка времени ремонт будет успешно закончен. Эти сведения можно получить в результате статистической обработки данных о надежности машин и о времени, затраченном на их ремонт. Кроме того, нам необходимо знать, какова заданная долговечность.

Пусть в парке 1000 машин. Воспользуемся вычислительной машиной, снабженной генератором случайных чисел. Заготовим бланки для записи поведения каждой из машин. По оси абсцисс отложим время. На положительной оси ординат будем отмечать исправное состояние машины, а на отрицательной оси ординат — неисправное состояние и ее ремонт. Настроим генератор на закон распределения надежности новой машины. Получим от этого генератора случайные числа часов или дней исправной работы. Отложим эти числа от начала координат на бланках. У одной машины окажется одно число часов работы до остановки, у другой — другое, у третьей — третье и т. д. Таким образом будут установлены случайные моменты отказов машины. Затем перестроим генератор случайных чисел на закон распределения успешного окончания первого ремонта машины. Получим от генератора случайные числа часов или дней ремонта. Первое полученное число отложим по оси абсцисс на первом бланке, начиная с точки, представляющей момент порчи машины; второе случайное число таким же путем отложим на втором бланке и т. д. Вторично перестраиваем генератор случайных чисел на закон распределения надежности машин, прошедших один ремонт. Получим от генератора случайные числа часов или дней успешной работы машин, прошедших один ремонт. Отложим числа часов на бланках по оси абсцисс, начиная с точки, представляющей момент успешного окончания первого ремонта. Затем снова настраиваем генератор случайных чисел на закон распределения успешного окончания второго ремонта и т. д. В результате у нас получатся бланки поведения всей тысячи машин за промежуток времени, заданный долговечностью, или в течение большего промежутка времени. Теперь полученные бланки нужно подвергнуть статистической обработке. На оси абсцисс отложим время, по оси ординат для разных моментов времени отложим число исправно работающих машин, разделенное на тысячу. Пользуясь бланками и только что построенной диаграммой, сможем построить диаграмму изменения дисперсий исправно работающих машин в зависимости от времени.

Далее, можно поставить вопрос о том, каким путем возможно повысить процент исправно работающих машин. Для

этого следует варьировать законы распределения надежности новых и отремонтированных машин и законы распределения успешного окончания ремонта. Так устанавливается связь между законами распределения надежности машин, законами распределения их ремонтов и долговечностью машин.

Переходим к другому примеру. Требуется смоделировать процесс резания металла с целью выбора оптимальных режимов<sup>1</sup>. Будем считать, что в нашем распоряжении имеются эмпирические формулы резания, характеризующие процесс резания металлов с различных точек зрения. Увязываем эти формулы так, чтобы обеспечить необходимые жесткости станка и креплений режущего инструмента и деталей во время работы; иметь надлежащую скорость и глубину резания и правильно выбрать способ охлаждения, принимая во внимание взятый режущий инструмент; определить необходимую мощность станков. Для увязки пользуемся методами нелинейного или линейного программирования в зависимости от технической сущности решаемой задачи. Получается система уравнений, которая решается на вычислительной машине. Машина дает ответ на вопросы, как можно обеспечить минимальную стоимость процесса резания при надлежащем его качестве.

Остановимся теперь на задаче создания методов синтеза машин, приборов и устройств, осуществляющих оптимальный режим работы. Конечно, нужно предварительно установить, что будет пониматься под оптимальным режимом работы. Должны быть составлены уравнения поведения машины при внешних воздействиях и в условиях работы. Вычислительная машина находит интегралы системы уравнений; интегралы анализируются научными сотрудниками с точки зрения того, насколько процесс, зафиксированный интегралами, удовлетворяет требованиям, предъявляемым к оптимальным процессам. Меняем постоянные параметры, входящие в уравнения, и некоторые переменные параметры, которыми можно управлять, и снова находим интегралы системы. Таким путем отыскиваются интегралы системы, ближе всего подходящие к требованиям оптимального процесса. После этого возникает вопрос об осуществлении нужных значений постоянных параметров и необходимых переменных параметров, которыми мы решили управлять. Те и другие параметры связаны с физическими характеристиками машины: с силами, действующими в машине, массами отдельных звеньев и распределением этих масс, гео-

---

<sup>1</sup> См. Г. К. Горанский, К теории автоматизации инженерного труда, Минск, 1962.

метрией машины и физическими характеристиками электрических элементов. Связь эта, конечно, известна. Задача заключается в том, чтобы получить значения физических параметров. Опять-таки приходится проделывать ряд решений на машине, с тем чтобы получить наиболее удобные для осуществления значения физических параметров.

Остановимся в заключение на вопросе использования вычислительных машин для разработки технологии изготовления машиностроительных деталей, имеющих форму тел вращения<sup>1</sup>. Пусть детали имеют внешние и внутренние круглые цилиндрические поверхности, разграниченные плоскостями, перпендикулярными оси вращения. Указывается, какой должна быть окончательная обработка поверхностей деталей (токарная, шлифование и т. д.); на поверхностях могут быть шпоночные канавки, могут быть сверления. Необходимо также выбрать заготовки для изготовления деталей. Требуется на вычислительной машине составить технологическую карту изготовления деталей. Для этого в запоминающее устройство вычислительной машины заносятся все необходимые данные, которые берутся из чертежей детали и заготовки. Задается общий порядок обработки разных поверхностей деталей и условия, определяющие способы крепления деталей. Условливаются, из каких переходов состоят операции обработки.

В настоящее время на основании этих данных удалось составить программы работы вычислительной машины. Машины выдавали технологические карты, которые опробовались. При этом оказалось, что эти технологические карты удовлетворительного качества. Таким путем очень облегчается обширный труд по составлению технологических карт деталей.

Упомянем еще о том, что в настоящее время предпринята попытка проектирования агрегатных металлорежущих станков с помощью вычислительных машин.

Вопросы автоматизации умственного труда при исследованиях в области машиноведения и во время работы инженера по проектированию представляют очень важную задачу, к решению которой мы еще только приступаем. Требуются большие усилия и средства для того, чтобы ее успешно решить.

---

<sup>1</sup> См. А. М. Гильман, Об алгоритмическом проектировании технологических процессов в машиностроительной промышленности, «Проблемы кибернетики», вып. 3, 1960.

Б. В. БИРЮКОВ  
А. Г. СПИРКИН

## **Гуманитарные науки, логика и кибернетика**

Важной областью философской проблематики кибернетики является рассмотрение ее социальных аспектов и ее значения для гуманитарных наук.

В таком рассмотрении первостепенное значение имеет выявление глубоких связей между кибернетикой и логикой, на которых в значительной степени базируется применение идей, результатов, методов и технических средств кибернетики в таких науках, как лингвистика, психология, педагогика, юриспруденция и др. Этому кругу вопросов и посвящена настоящая статья.

### **1. Кибернетика и гуманитарные науки Некоторые вопросы методологии**

Кибернетика была вызвана к жизни возрастающей значимостью задач, относящихся к повышению качества управления в различных областях человеческой деятельности (техника, экономические системы, научно-исследовательская работа и т. д.).

Возникновение и развитие кибернетики и ее главной технической базы, т. е. электронных цифровых машин, — это ответ науки и техники на обусловленные развитием материального производства и культуры требования к повышению эффективности управления и переработки информации в условиях середины XX столетия, когда прежние методы управления в сфере промышленности, транспорта, связи и т. п., имевшиеся технические средства обработки все более и более возрастающих объемов информации уже не удовлетворяли общество: не могли обеспечить необходимой оперативности

и точности существенных для его развития процессов управления<sup>1</sup>.

Таким образом, кибернетика — с самого своего оформления в самостоятельную область знания — имела определенный социальный аспект. В обществе имеется немало областей, к которым применимы идеи, методы и технические средства кибернетики, поскольку этим областям присущи аспекты, связанные с осуществляющимися в них процессами управления и переработки информации. Таковы, например, разнообразные технические устройства, машины и системы машин, технологические процессы, транспортные операции, связь, деятельность коллективов людей, занятых решением определенных задач в области планирования, статистики и учета, науки, военного дела и т. д.

Кибернетика представляет собой теоретический фундамент автоматизации производственных процессов, интенсивно разветвляющейся в различных областях народного хозяйства экономически развитых стран начиная с конца 40-х годов XX в. В социалистическом обществе все более полная комплексная автоматизация процессов производства, транспортных операций, торговли, экономического планирования, научно-исследовательских работ и т. д. является важной составной частью создания материально-технической базы коммунизма. Прогресс производительных сил социалистического общества требует в настоящее время все более широкого применения в управлении фабриками и заводами, учреждениями, цехами и производственными участками и т. д. автоматизированных систем, базирующихся на использовании средств теоретической и технической кибернетики и электронных цифровых машин. Все возрастающее значение имеют приложения кибернетики к экономике, а также в области статистики, учета, коммуникаций, административно-управленческого труда и т. д.

Автоматизация производства и управления экономикой, рассматриваемая как широкий исторический процесс, протекающий в рамках всего народного хозяйства данной страны и его отдельных областей, влечет за собой важные социальные последствия. При капитализме автоматизация усиливает безработицу, приводит к переходу работников на менее квалифицированную и поэтому хуже оплачиваемую работу. Внедрение

---

<sup>1</sup> На это обстоятельство как главную причину, определившую становление кибернетики как науки о процессах управления в сложных динамических системах, обратил внимание в ряде своих статей А. И. Берг. См., например, А. И. Берг, О некоторых проблемах кибернетики, «Вопросы философии» № 5, 1960.

кибернетической техники капиталистами происходит крайне неравномерно, обостряя противоречия буржуазного общества.

Социализм, основанный на плановом развитии народного хозяйства и культуры, открывает широчайшие возможности перед автоматизацией. Продуманное и планомерное, — базирующееся на использовании возможностей планового начала в преодолении возникающих трудностей, связанных с введением автоматизации, с изменениями в организации труда и с перераспределением рабочей силы, — внедрение кибернетической техники в различные сферы народного хозяйства и культуры ведет при социализме к улучшению условий труда работников, к стиранию граней между физическим и умственным трудом, к росту материального благосостояния, технического и культурного уровня трудящихся.

Рассматривая социальные аспекты кибернетики, ее значение в различных сферах коммунистического строительства, следует не упускать из виду необходимость борьбы против искажений места и роли кибернетики в системе знаний людей о природе и обществе, против ошибочных оценок социальных последствий применения ее технических средств, — оценок, которые получили распространение в буржуазной литературе. Методологическое обоснование широкой применимости кибернетики и электронных вычислительных машин в социалистическом государстве прямо противоположно рассуждениям некоторых западноевропейских и американских философов, социологов, журналистов и писателей об «опасности» кибернетики, о том, что созданные людьми машины-роботы могут выйти из-под контроля человечества и даже поработить или истребить последнее.

С точки зрения диалектического и исторического материализма дело обстоит как раз наоборот: роль человека по мере развития приложений кибернетики в социалистическом обществе будет лишь увеличиваться, поскольку человек во все большей мере будет решать поистине творческие задачи, будет получать от кибернетических устройств необходимые данные для обоснованных решений и обширные возможности для теоретических исследований и научных экспериментов.

Очерченный круг вопросов составляет то, что можно назвать социальным аспектом кибернетики. Этот аспект тесно связан с применением идей, средств и результатов кибернетики к гуманитарным наукам, и эта сторона кибернетики может быть названа ее социологическим аспектом. Рассмотрим кратко этот второй аспект.

С самого начала своего возникновения кибернетика развивалась в тесной связи с рядом других областей знания (био-

логия, лингвистика, психология и др.). Применение результатов и методов кибернетики к этим наукам, шедшее рука об руку с использованием электронной вычислительной техники и проникновением в них математических методов, получало начиная с конца 40-х годов все больший размах. Например, в области изучения явлений жизни идеи и средства кибернетики, математики и логики находили все большее применение в изучении деятельности нервной системы и головного мозга, в генетике, в вопросах эволюционной теории, в различных вопросах физиологии. Одновременно с проникновением идей и методов кибернетики в естественные науки (прежде всего в дисциплины биологического цикла) кибернетические идеи и методы начали находить приложение в некоторых гуманитарных областях знания. На первом месте здесь следует поставить экономические науки и лингвистику.

Применение средств, которые ныне входят в арсенал математической кибернетики, к экономической науке, — приведшее впоследствии к оформлению научного направления, которое можно назвать математической экономикой, — началось даже до оформления кибернетики, как таковой. Это применение связано с использованием вероятностно-статистических методов и метода моделирования, с развитием некоторых новейших математических дисциплин — теории игр, линейного программирования и др. Основы теории игр — математической теории, в которой развивается аппарат для описания наивыгоднейших линий поведения («стратегий») в так называемых игровых ситуациях (прообразами которых являются помимо обычных игр задачи, возникающие в экономике, при контроле продукции на производстве, военном деле и т. п.), — были заложены еще в 20-х годах в работах Дж. Неймана и Э. Бореля. Однако основное ее развитие началось после выхода в 1944 г. книги Дж. Неймана и О. Моргенштерна «Теория игр и экономическое поведение», в которой средства теории игр были применены к анализу экономических вопросов. Начиная с 50-х годов теория игр быстро развивается и в настоящее время является ареной интенсивных исследований с выходом в теоретическом плане в самые различные области математики, а в плане приложений — в различные области экономических и иных народнохозяйственных задач. С теорией игр связана другая важная, с интересующей нас точки зрения, новая математическая дисциплина — линейное программирование. В рамках этой дисциплины получили разработку методы решения особого рода экстремальных задач, источником которых являются по преимуществу вопросы организации и планирования

производства, управления технологическими процессами и т. п.<sup>1</sup> В настоящее время методы линейного программирования — и других применяемых при решении экономических задач дисциплин математической кибернетики, таких, как динамическое программирование, нелинейное программирование и другие, — являются предметом оживленных исследований математиков и экономистов.

Теория игр и линейное программирование являются важнейшими математическими дисциплинами, на которых базируется та очень важная для приложений к задачам, возникающим при изучении многих явлений в обществе, область кибернетики, которая получила название исследования операций. Толчком к развитию этой области науки (и практической деятельности) были работы по исследованию военных операций точными математическими методами, которые были организованы при военных штабах некоторых стран в годы второй мировой войны. После войны методы исследования операций охватили невоенные области, особенно экономические вопросы (объектом исследования операций стало производственное планирование, управление промышленными предприятиями, торговыми операциями, обслуживанием абонентов и т. д.). Исследование операций в своей теоретической части помимо упомянутых выше теории игр и теории оптимального планирования широко пользуется целым рядом старых и новых математических дисциплин. Одной из новых дисциплин, характерных именно для этого направления кибернетики, является математическая теория массового обслуживания.

Не менее тесно, чем с областью экономической науки и практики, идеи и методы кибернетики — уже с первых ее шагов — оказались связанными с наукой о языке. Взаимодействие кибернетики и ее математико-логических оснований (особенно математической логики и теории алгоритмов) с лингвистической проблематикой привело к оформлению нового научного направления — математической лингвистики. Это направление явилось теоретической основой работ по автоматизации перевода с одного языка на другой, которые развернулись с конца 40-х годов во многих странах мира. Новый импульс математической лингвистике дали работы по созданию

---

<sup>1</sup> Возникновение линейного программирования в СССР связано с работами ленинградского математика Л. В. Канторовича (его брошюра «Математические методы организации и планирования производства» вышла в 1939 г.), который назвал его теорией оптимального планирования. Начиная с 1947 г. исследования в области оптимального планирования начались в США и затем получили большой размах.



информационно-логических машин для определенных областей знания, начавшиеся несколько позже. Работы по автоматическому переводу и разработке информационно-логических машин обнаружили важность исследований в области логической семантики — части логики, в которой рассматривается отношение между формальными логическими системами и их содержательными интерпретациями. Кибернетика же позволила обнаружить позитивное содержание в той проблематике, которая объединяется ныне под именем семиотики. В настоящее время семиотика как общая теория знаков и знаковых систем развивается в тесном контакте с кибернетикой; упомянутые выше математическая лингвистика и логическая семантика являются, в некотором смысле, частями семиотики.

Из числа других областей знания, в которые за последние десять лет проникали идеи кибернетики, теории информации, математической логики и т. д., можно отметить психологическую науку, юриспруденцию, а также педагогическую теорию и практику, в которых тенденция к приложению идей кибернетики сочеталась с усилиями по применению машин в процессе обучения (так называемые обучающие машины).

Описанный процесс проникновения идей и средств кибернетики в гуманитарные науки происходил и происходит как на Западе, так и в Советском Союзе и других социалистических странах. В социалистическом обществе имеются большие возможности использования теоретических и технических средств кибернетики в науках, изучающих общественные явления и человека. В области экономических исследований применение методов математики и кибернетики имеет целью разработку теории оптимального решения задач экономического планирования, предполагающую широкое использование электронных цифровых машин; разработку теоретических принципов создания рациональных систем потоков экономической информации и др. Применение богатых средств математического арсенала кибернетики может помочь в уточнении основных экономических категорий, которое столь необходимо для повышения эффективности экономических расчетов при социализме.

В настоящее время можно с уверенностью утверждать, что кибернетика уже показала масштабы своих возможностей не только в экономических исследованиях и в разработках, связанных с планированием, но и в целом ряде других областей исследования, относящихся к жизни общества, и в гуманитарных науках. Так, в комплексе лингвистических проблем кибернетики важнейшее — как теоретическое, так и практическое —

значение имеют работы по созданию систем автоматического машинного перевода, систем автоматического реферирования текстов, разработка искусственных «языков» для хранения и обработки информации, относящейся к той или иной области науки или практической деятельности, и т. д. Союз кибернетики с наукой о языке важен не только для решения прикладных задач; он является существенным и для развития теоретического языкознания (в частности, в рамках структурной лингвистики, тесно связанной с применением математических и кибернетических методов в науке о языке).

Для советского народного хозяйства и науки немаловажное значение имеют работы по применению кибернетики в инженерной и космической психологии, особенно существенные в связи с задачей выявления требований, предъявляемых к устройствам обмена информацией между человеком и машиной, и в связи с проблемой создания условий для оптимального взаимодействия между человеком и его автоматическими помощниками.

Кибернетика необыкновенно усиливает познавательные возможности всех наук, изучающих психику, — психологии, психиатрии, педагогики, вооружая их точными методами исследования. В настоящее время в нашей педагогической науке уже признано то большое значение, которое имеют идеи и средства кибернетики в теории и практике обучения. Это признание связано с работами в области так называемого программированного обучения, с поисковыми работами по применению в обучении и педагогической науке кибернетических устройств и т. д. Разработка принципов построения кибернетических устройств, повышающих эффективность работы человека в процессе обучения, относится к числу весьма актуальных задач. Поэтому работы в указанной области принимают сейчас все больший размах.

Кибернетика применима и в юриспруденции. Перспективность ее приложений к ряду вопросов юридической науки и судебно-следственной практики вызвала к жизни постановку таких задач, как накопление и обработка юридической информации на информационно-логических машинах, использование машин при подготовке материалов для кодификации права, при разработке нового законодательства, для обобщения судебной практики и др.<sup>1</sup> Методы кибернетики и электронная вычислительная техника применимы также для учета преступлений

---

<sup>1</sup> См. Д. А. Керимов, Советское правоведение, законность и кибернетика, «Строительство коммунизма и общественные науки», М., 1962, стр. 250—253.

и их классификации; они могут быть полезны и для выявления причин преступности. Это по существу один из примеров использования кибернетики в изучении конкретных социальных явлений. Вряд ли можно сомневаться в том, что методы и средства кибернетики должны найти свое место в исследованиях социальных процессов, происходящих в социалистическом обществе, в частности при обработке относящихся к ним статистических материалов, при моделировании общественных явлений и т. п.; главной целью их применения здесь явится точный анализ процессов и на этой основе предвидение их хода и оптимальное управление ими.

Следует, наконец, отметить важную проблему, выдвинутую в последние годы развитием кибернетики, — проблему надежности работы технических устройств и человека. Эта проблема имеет не только важнейшее научно-техническое, но и немаловажное методологическое и социальное значение. Усилия в области разработки этой проблемы приводят в настоящее время к постепенному оформлению теории вопроса, в центре которой — разработка принципов установления оптимальной надежности технических систем и кибернетических устройств, а также систем типа «автомат — человек».

Таким образом, кибернетика, ее технические средства и математические и логические основания являются немаловажным условием развития как естественных наук — физиологии, биологии, химии и других, — так и наук об обществе и человеке: экономической науки, лингвистики, психологии и педагогики, науки о праве, а также исторической науки. Имея в виду эту сторону дела, мало просто отметить, что кибернетика и математика, средства современной автоматики, и прежде всего электронные универсальные цифровые вычислительные машины, применимы в гуманитарных науках. С методологической точки зрения крайне важно подчеркнуть, что коммунистическое строительство необходимо предполагает использование математики и кибернетики, кибернетической техники в науках об обществе и мыслительной деятельности человека, в разнообразных приложениях этих наук к практической деятельности советских людей. Применение теоретических и технических средств кибернетики приобрело в настоящее время чрезвычайно важное научное и практическое народнохозяйственное значение. Успехи математики, логики и кибернетики открывают новые большие возможности в повышении темпов и результативности процессов познания в гуманитарных областях знания, дают в руки ученых и специалистов-практиков в этих науках мощные технические средства для

переработки информации, для оптимизации научно-исследовательских работ, для повышения эффективности практических приложений этих научных дисциплин в народном хозяйстве, в различных областях жизни советского общества.

\* \* \*

В связи с выявившейся в ходе новейшего развития науки принципиальной применимостью методов, идей и результатов кибернетики (и ее теоретических основ — математики и логики), а также ее технических средств в различных естественных и общественных науках, в связи с большой важностью применения средств кибернетики в науках об обществе и человеку естественно поставить вопрос о тех методологических принципах, на которых основывается эта применимость. С нашей точки зрения такими принципами являются: принцип единства количества и качества, принцип материального единства мира, принцип единства формального и содержательного подходов к науке, а также диалектико-материалистическое понимание машины.

С философской точки зрения применимость математики и кибернетики в гуманитарных (так же как и в естественных) науках связана прежде всего с диалектико-материалистическим положением о единстве количества и качества. В силу этого положения глубокое научное познание качественных сторон предметов, процессов, областей действительности необходимо предполагает изучение закономерностей количественного характера; при этом количество понимается в том обобщенном виде, в каком его принято рассматривать в современной математике.

Иногда и в настоящее время можно встретиться с недооценкой применения математики в других науках; сторонники таких взглядов нередко рассуждают так: в математике всегда что-то подсчитывают да вычисляют, а сущность выразить не могут; отражение сущности — это есть дело теоретического мышления, и это мышление не нуждается будто бы в математике. При этом упускается из виду неразрывная связь количества и качества, количества и содержания. Поэтому-то и возникает ошибочный взгляд на количественные методы исследования как на чисто формальные (в смысле: неспособные выявить содержание объекта исследования). Методологический изъян такого рода рассуждений очевиден: они противоречат диалектико-материалистическому принципу единства количества и качества. Такое ущербное представление о возможностях современной математики превратно и вредно: развитие

науки наглядно демонстрирует, что теоретическое мышление в познании конкретных областей и сторон реальной действительности уже не может обойтись без математических и логико-математических средств, что применение этих средств — важнейшая составная часть того процесса выявления закономерностей действительности, который составляет самую суть научного исследования. Эту тенденцию развития науки предвидели классики марксизма-ленинизма. Так, К. Маркс считал, что «наука только тогда достигает совершенства, когда ей удастся пользоваться математикой»<sup>1</sup>. Следуя идеям Маркса, нужно всемерно расширять и укреплять прогрессивную тенденцию вооружения науки аппаратом современной математики.

В кибернетике тенденция математизации знания находит весьма выпуклое выражение. Кибернетика изучает системы и процессы управления с математической точки зрения, широко используя самые различные математические и логические методы и опираясь на многие разделы современной математики.

Применимость кибернетики в гуманитарных и естественных науках связана также с диалектико-материалистическим принципом материального единства мира. Этот принцип в отношении той области, которая составляет предмет изучения кибернетики, получил подтверждение и конкретизацию в следующем смысле: было не только открыто наличие одинаковых или сходных закономерностей процессов управления и переработки информации в самых различных сферах реальности, но и продемонстрирована возможность (и плодотворность!) достаточно общих математических и логико-математических трактовок этих закономерностей на различных уровнях абстракции; тем самым было показано, что эти закономерности — характерная черта движущейся материи (во всяком случае на определенном уровне ее усложнения и развития). Именно это обстоятельство открывает широкие перспективы применения кибернетики и связанных с ней дисциплин, прежде всего теории информации, не только в биологии (в отношении чего в общем уже преодолены сомнения), но и в изучении общественных процессов (в отношении чего еще приходится, к сожалению, сталкиваться со скептическим отношением).

К методологическим основаниям применимости методов и средств кибернетики в конкретных науках о природе и обществе относится также принцип единства формального и содержательного подходов. Суть этого принципа

---

<sup>1</sup> «Воспоминания о Марксе и Энгельсе», стр. 66.

лучше всего можно уяснить, рассматривая широко используемый в современной науке метод формализации. Этот метод состоит в том, что уточнение содержания изучаемой области познания происходит путем того, что изучаемым объектам (явлениям, процессам) определенным образом ставятся в соответствие некоторые материальные конструкции, обладающие свойством относительной устойчивости и позволяющие в силу этого выявлять и фиксировать связанное с изучаемыми объектами существо дела. С точки зрения методологической формализация есть выявление и уточнение содержания через выявление и фиксацию его формы. Поскольку содержание и форма в диалектико-материалистической точке зрения суть неотъемлемые характеристики областей познания, постольку метод формализации служит необходимой составной частью всякого процесса раскрытия законов объективного мира. Исторически появившись вместе с возникновением мышления и языка, поднявшись на новую ступень вместе с развитием письменности, формализация стала особым гносеологическим приемом, когда развились формальная логика и математика с ее мощным символическим аппаратом. Важнейшие этапы в развитии метода формализации связаны с созданием в математике нового времени буквенных исчислений — буквенной алгебры, дифференциального и интегрального исчисления и других — и с развитием логических исчислений математической логики.

До возникновения кибернетики развитые формы метода формализации, связанные с разработкой и использованием исчислений, находили применение лишь в узком круге дедуктивных наук. Развитие кибернетики убедительно показало, что этот метод может быть с успехом применен и в таких науках, как лингвистика, педагогика, право и т. д. Больше того, кибернетика принесла с собой и новые формы формализации, связанные с применением цифровых вычислительных машин (составление алгоритмов решения задач на этих машинах, программирование для них, кодирование условий задачи для ввода в машину, сама обработка данных в машине, когда процесс решения овеществляется в состояниях ее элементов и т. п.). Именно в свете идей и результатов кибернетики стало очевидным общенаучное, гносеологическое значение формализации как метода, который в принципе применим (в той или иной его форме) ко всякой области конкретных или абстрактных объектов познания. И именно кибернетика выдвинула задачу применения метода формализации (в его развитых формах) к тем областям знания, к которым он (во всяком случае в систематическом виде) до этого не применялся. Ибо обяза-

тельным условием применения методов кибернетики в той или иной области познания является предварительная формализация подлежащих изучению закономерностей в виде (более или менее развитой) знаковой системы.

Рассматривая вопрос о приложимости кибернетики, математики, теории информации и т. д., а также технических средств этих наук, особенно электронных цифровых машин, в гуманитарных областях знания, следует подчеркнуть, что эта приложимость вытекает также из трактовки машины в диалектическом и историческом материализме. Согласно этой трактовке, машина служит для увеличения мощи человека, для умножения его возможностей, связанных с осуществлением разнообразных трудовых, производственных процессов, а вовсе не для «вытеснения» человека из процесса создания материальных и духовных ценностей. Речь при этом идет не только о трудовых процессах, связанных с преобразованием формы энергии или с воздействием на вещество природы, на объект труда, но и о процессах управления и информационных процессах. Машина с диалектико-материалистической точки зрения есть средство расширения возможностей человека в любых областях его деятельности, в том числе в области интеллектуальной деятельности, умственного труда, не меньше, чем в областях, которые по традиции относимы к областям физического труда. Но если это так, то отсюда следует возможность строгого (на языке современной формальной логики и математики) выражения закономерностей, относящихся к тем областям деятельности человека, где применяются машины. Ибо применение машины для автоматизации любого трудового процесса или процесса переработки информации человеком, для моделирования его интеллектуальной деятельности необходимо предполагает выражение закономерностей соответствующих областей с помощью строгих математических и логико-математических средств. Использование современных вычислительных и информационных машин для решения задач, возникающих в гуманитарных науках, требует, следовательно, широкого применения средств математики и логики в областях, связанных с изучением общества и человеческого мышления.

В настоящее время окончательно рассеялись ранее высказывавшиеся недоумения, связанные с широкой применимостью идей и средств кибернетики в различных областях науки и практики. Стало очевидным, что кибернетика — при всей широте применения своих методов — остается специальной наукой и ни в какой мере не претендует на роль философской методологии. С философской точки зрения чрезвычайно существенно

подчеркнуть, что ни математика, ни кибернетика не подменяют собой общественные науки, не отменяют специфики их предмета, не только не суживают области их исследования, а, наоборот, содействуют ее расширению и углублению. При всех условиях кибернетика (и ее теоретическая основа — разнообразные математические и логические дисциплины) является средством решения тех специфических задач, которые выдвигаются в рамках конкретных общественных наук. Но это — могучее средство, пренебрегать которым мы не имеем права.

## 2. О философских вопросах логических аспектов кибернетики

Кибернетика представляет собой область знания, теоретической основой которой являются математика и математическая логика. Известно, что в последние десятилетия сложился новый этап в развитии логики, связанный с математической логикой. Современная математическая логика устанавливает все более тесные связи с другими науками и получает многочисленные практические применения. Приложения кибернетики в гуманитарных науках тесно связаны с проникновением в эти науки идей и методов современной логики. В последнее время сфера приложения логики в гуманитарных науках быстро расширяется, охватывая лингвистику, психологию, экономические науки, юриспруденцию, педагогику и другие области. Выступая на сессии общего собрания АН СССР 20 декабря 1962 г., А. А. Марков подчеркивал, что «в настоящее время логика находит все больше приложений. Она применяется не только при конструировании автоматов, таких, как электронно-вычислительные машины, но получает плодотворное приложение в таких гуманитарных науках, как лингвистика, психология, наука о праве. Все эти полезные применения логики связаны с проникновением в логику точных методов, с математизацией логики, с превращением ее в математическую логику. Без такого превращения эти приложения были бы совершенно немыслимы»<sup>1</sup>. С полным основанием можно утверждать, что реализация больших возможностей, заложенных в применении математики и кибернетики в гуманитарных областях знания, будет далеко не полной, если не будут изучаться логические основы этих областей знания, если это изучение не будет использовать средства современной фор-

---

<sup>1</sup> А. А. Марков, О подготовке кадров в области логики, «Строительство коммунизма и общественные науки», стр. 191.



мальной логики, основанной на прочном базисе математических методов. Поскольку кибернетика жизненно заинтересована в развитии логики и ее приложений, логика заслуживает того, чтобы при рассмотрении методологических вопросов, связанных с отношением кибернетики к гуманитарным наукам, сказать о ней более подробно.

Как известно, существует точка зрения, согласно которой математическая логика, — т. е. логика, непосредственно используемая в кибернетике и ее технических средствах, — вовсе не есть логика в прямом смысле слова, так как она будто бы не имеет отношения к мышлению, а представляет собой только часть математики. Мы не можем согласиться с таким взглядом: математическая логика — это логика, имеющая прямое отношение к рассмотрению того, как люди рассуждают, как они в науке производят выводы и доказательства, как получают и обосновывают новые истины.

Подчеркивая, что математическая логика является логикой, мы не утверждаем тем самым, что она не является вместе с тем, в определенном смысле, математической дисциплиной. Иногда вопрос ставят так: что такое математическая логика — математика или логика? Если верно одно, то не верно другое. На такую упрощенную — по формуле «да или нет» — постановку вопроса ответ, по нашему мнению, может быть только такой: математическая логика — это и логика, и математика; логика по содержанию, математика по методу<sup>1</sup>. Больше того, это не только одновременно математика и логика, это и кибернетика. Математическая логика — это кибернетика, так как все приложения современной формальной логики (а ведь всякая наука имеет смысл лишь постольку, поскольку она в конечном счете может служить в той или иной форме руководством в практической деятельности людей, применяться к чему-либо) происходят в рамках идей кибернетики и (во все большем масштабе) осуществляются с помощью ее технических средств.

Следует уточнить, что мы здесь и в дальнейшем изложении будем понимать под математической логикой. Математическую логику мы будем рассматривать как не только охватывающую логические исчисления определенного рода (исчисление высказываний и исчисление предикатов, например), а как совокупность любых логических исчислений вместе с теорией таких исчислений; как науку о способах выражения средствами этих исчислений рассуждений и доказательств

---

<sup>1</sup> Точка зрения, которую еще в XIX в. высказал замечательный русский логик П. С. Порецкий.

в различных науках; как область знания, с которой связаны важные гносеологические вопросы — такие, как вопрос об основных абстракциях логики, о возможностях и пределах логической формализации и т. д. Математическая логика в этом понимании включает в себя конкретно-научное содержание традиционной логики, но в уточненном, обобщенном и систематизированном виде.

О традиционной логике стоит сказать несколько слов. В течение долгого периода развития логика, как известно, была слабо связана с математикой и другими науками и совсем не связана с техникой. Это, естественно, весьма ограничивало ее возможности. В конце XVIII — начале XIX в. (в частности, после работ И. Канта, высказавшего взгляд, что формальная логика имеет завершенный характер и не способна к дальнейшему развитию) произошла своеобразная канонизация силлогистики Аристотеля и других учений формальной логики, развившихся вне связи с методами математики. Эти учения и получили название традиционной (или школьной) логики. Традиционная логика представляет собой соединение некоторых вопросов философского характера с рассмотрением узкого числа собственно формальнологических проблем, многие из которых были скорее угаданы, чем на самом деле раскрыты. Традиционная логика, до сих пор излагаемая в руководствах по логике для гуманитарных специальностей, имеет весьма ограниченные возможности практических приложений по сравнению с логикой, использующей более современные, родственные математическим, методы формализации.

Главное отличие современной формальной логики, называемой также теоретической формальной логикой, от традиционной логики заключается в том, что первая основана на строгой теории и точных методах, в то время как последняя носила преимущественно описательный характер. Именно применение математических методов к формальнологической проблематике позволило создать ту стройную и точную науку, которая получила название математической логики.

Современная формальная логика имеет прямое отношение к изучению рассуждений, доказательств, мышления. Конечно, это отношение не следует понимать шире, чем оно есть на самом деле. Современная формальная логика не может претендовать на то, что ее предметом является мышление в полном его объеме как общественно-исторический, проникнутый диалектикой познавательный процесс. Объектом ее исследования становятся те мыслительные процессы и операции, в рассмотрении которых, на данной ступени развития науки,

может быть достаточно эффективно применен метод формализации. Будучи подобно психологии наукой, в определенном аспекте изучающей мышление, современная формальная логика имеет важнейшее философское — методологическое и гносеологическое — значение.

Это философское значение следует уже из обзора основных частей современной формальной логики. Такой обзор также полезен с точки зрения характеристики методологической проблематики, относящейся к взаимодействию логики и кибернетики, к логическим средствам последней.

Задачей логической науки является построение теорий, рассматривающих процессы рассуждения людей с точки зрения способности последних служить средствами открытия и доказательства истинных суждений, выражающих человеческие знания о процессах, фактах, закономерностях, имеющих место в различных областях реальной действительности, о соотношениях абстрактных понятий науки, служащих для отображения содержания той или иной предметной области, и т. п. Современная формальная логика решает эту задачу, осуществляя построение исчислений (и систем исчислений), выражающих прежде всего способы выведения одних истинных высказываний из других, и разрабатывая теорию таких исчислений и их приложений в тех или иных областях науки и техники.

Исходным разделом современной формальной логики является широко известное исчисление высказываний, на основе которого строится исчисление предикатов — основная часть математической логики. Исчисление высказываний изоморфно другому разделу современной логики — исчислению классов, наиболее «старому» разделу математической логики, разрабатывавшемуся еще в работах Дж. Буля.

Все эти исчисления строятся обычно исходя из представления, что каждое высказывание либо истинно, либо ложно, и притом только одно из двух (двузначная логика). Исчисление предикатов, т. е. логика свойств и отношений, является развитием логики высказываний и включает в себя последнюю как составную часть. Исчисление предикатов, в котором ограничиваются рассмотрением одноместных предикатов (т. е. свойств), оказывается эквивалентным исчислению классов, к которому присоединены средства исчисления высказываний, и средств этого исчисления достаточно для выражения всех способов умозаключения, отображаемых (в немодальной) силлогистике Аристотеля. Однако для формализации рассуждений во многих научных теориях (математических и иных) недостаточно средств исчисления одноместных предикатов:

для такой формализации необходимы средства для выражения отношений. Такие средства содержатся в исчислении многоместных предикатов (содержащем способы выражения одно-, двух-, трех- и т. д. местных предикатов). С последним связана основная методологическая проблематика математической логики.

Со многими аспектами проблематики этих основных частей математической логики тесно связана теория алгоритмов. Эта теория обычно рассматривается в качестве части современной формальной логики. Правда, если понятие математической логики суживают до некоторого сравнительно узкого ядра логических исчислений (в которое, во всяком случае, входят исчисление высказываний и исчисление предикатов), то теорию алгоритмов рассматривают как теорию, отличную от логики (хотя и тесно связанную с ней). При широкой трактовке понятия современной формальной логики теорию алгоритмов следует рассматривать как часть последней. На основе уточненного в теории алгоритмов понятия *алгоритма* получили развитие так называемые конструктивные направления в математике и логике. Характерной чертой этих направлений является отказ от широко используемой в теоретико-множественной (так называемой классической) математике идеи актуальной (т. е. завершенной, законченной) бесконечности и установка на перестройку математики на базе точного понятия алгоритма.

Конструктивные направления — в частности конструктивное направление в советской математике и логике, которое возглавляет А. А. Марков — внесли существенный вклад в изучение формальнологической стороны мышления, причем не только в математике. Существенным здесь является то, что развитие этих направлений показало возможность (и научную плодотворность) логических систем, отличных от классической, — признающей закон исключенного третьего и абстракцию актуальной бесконечности — логики, пролило новый свет на логическую роль идей, связанных с бесконечностью, в математическом мышлении (а позднее и в кибернетике), на гносеологический смысл понятия конструктивности в применении к научным рассуждениям и т. д. Оно весьма выпукло показало зависимость логических средств от изучаемого содержания. Эти средства «не представляют собой чего-то абсолютного, раз навсегда установленного». «Логические средства, удовлетворительно отражавшие практику человеческого мышления на данном этапе или в данной области, могут уже оказаться неподходящими на следующем этапе или в другой области. Тогда в зависимости от изменения содержания рас-

смаатриваемого предмета изменяется и способ его рассмотре-ния — изменяются логические средства»<sup>1</sup>.

Кроме двузначной логики разработаны различные виды многозначной и бесконечнозначной логики<sup>2</sup>. Одним из разделов современной формальной логики является модальная логика, в которой происходит формализация таких понятий, как необходимость, возможность, невозможность, а иногда также случайность и некоторые другие модальности.

Отмеченные в нашем изложении области логики являются развитием, уточнением или обобщением той проблематики, которая составляла дедуктивный раздел традиционной логики. Средства логики высказываний, логики предикатов и модальные исчисления позволяют получить все то, что содержится в дедуктивном отделе нематематической формальной логики; этот последний с современной точки зрения представляет собой лишь фрагмент указанных разделов теоретической формальной логики.

Как известно, помимо учения о дедукции в нематематической формальной логике имеется также раздел, посвященный вопросам, относящимся к индукции (и отчасти к гипотезе). С этой частью традиционной логики тематически связаны вероятностная и современная индуктивная логики, развивающиеся главным образом с 30-х годов XX в. Построения вероятностной логики находятся в тесной взаимосвязи с теорией вероятностей. Применение средств вероятностной логики к задачам, относящимся к обобщению опытных данных, превращает ее в современную форму индуктивной логики.

Современная формальная логика, таким образом, представляет собой некоторую совокупность исчислений, выражающих те или иные стороны строения научных выводов и доказательств (логические исчисления), и связанных с ними теорий. Применение исчислений логики для формализации содержания определенных областей познания приводит к так называемым прикладным исчислениям<sup>3</sup>. Помимо построения самих этих исчислений в современную формальную

---

<sup>1</sup> А. Марков, Математическая логика, «Философская энциклопедия», т. 3.

<sup>2</sup> В многозначной логике каждое высказывание может принимать одно, и только одно, значение из некоторого конечного числа значений истинности, или истинностных значений; так получаются трехзначные, четырехзначные и т. д. логические исчисления. В бесконечнозначных логических исчислениях высказывания рассматриваются принимающими одно из бесконечного множества истинностных значений.

<sup>3</sup> Из последних наиболее разработаны в настоящее время логикоматематические исчисления, которые формализуют процессы рассуждения в некоторых разделах математики, особенно арифметики.

логику входит изучение свойств этих исчислений, отношений между ними и т. п., а также рассмотрение их практических приложений, особенно в технике.

Чем объясняется многообразие современных логических теорий и рассматриваемых в них исчислений? С нашей точки зрения, это многообразие является отображением многообразного характера тех областей знания, которые в настоящее время предъявляют требования к уточнению применяемых в них логических средств. Это обстоятельство особенно явно обнаруживается, когда мы рассматриваем прикладные логические и логико-математические теории и исчисления. Ведь теории этого рода, отображая определенные виды или аспекты рассуждений людей, их содержательного мышления, отображают вместе с тем — в той или иной степени и форме — характер тех областей действительности, на познание которых они ориентированы. Этим, в частности, можно объяснить большое разнообразие логических теорий и исчислений, порожденных запросами кибернетики и ее технических приложений, ее применениями в различных, в том числе гуманитарных, науках.

Говоря о причинах поразительного разнообразия современных логических исчислений — ведь мы в нашем кратком обзоре назвали только основные типы этих исчислений, — следует обратить внимание на возможность различных способов логической формализации одной и той же области знания или техники. В связи с этим естественно возникает вопрос, из каких соображений происходит построение разных логических и логико-математических формализаций одного и того же содержания, на основе чего происходит переход от одной формализации к другой. Основанием для предпочтения одного способа формализации другому являются обычно соображения, связанные с тем, насколько хорошо данная логическая теория или исчисление отражает содержание формализуемой области знания, в какой мере с помощью этой теории удастся решать важные с практической или теоретической точки зрения задачи. Таковыми могут быть, например, задачи, относящиеся к надежности автомата, к минимизации числа элементов релейной схемы, к выражению связи по смыслу в условном суждении и т. п.

Проникновение идей, методов и результатов кибернетики во все новые области знания, в частности гуманитарного, приводит к тому, что в этих областях начинает использоваться современная формальная логика; кибернетика всегда по существу идет рука об руку с логикой. Этот процесс способствует развитию «старых» разделов логики; он же вызывает

к жизни новые ее разделы и дает импульс к развитию тех ее областей, которые долгое время находились в состоянии застоя; так, он обещает сделать актуальными такие, находящиеся в настоящее время на «окраинах» логики, области, как логическая теория причинности и теория определений<sup>1</sup>.

Кибернетика приобрела в настоящее время немаловажное синтетическое значение. Стала очевидной важность кардинальной идеи кибернетики, состоящей в выявлении общности строения и функционирования систем управления различной природы, осуществляемом методами, характерными для логико-математических и естественнонаучных дисциплин. Именно реализация этой идеи, стимулируемая все возрастающей практической потребностью исследования конкретных процессов управления, требует решения новых математических и логических задач, приводит к развитию существующих и созданию новых направлений в математических и логических основаниях кибернетики.

Наконец, следует отметить и то обстоятельство, что современная формальная логика в связи с развернувшимися работами по автоматизации различных форм умственного труда, по выявлению оптимальных условий взаимодействия человека и автомата, по разработке информационно-логических машин и вообще по автоматизации процессов переработки информации в науке, по применению кибернетики в теории обучения и т. п. начинает находить более непосредственное, чем раньше, применение при анализе самих мыслительных процессов. В частности, все больше внимания начинает уделяться разработке эвристических средств логики. Хотя отмеченные работы находятся еще по существу в самом начале, вряд ли можно сомневаться в том, что им принадлежит большое будущее.

\* \* \*

Логические аспекты кибернетики — теоретической, технической и прикладной — связаны главным образом с теорией алгоритмов и техническими приложениями основных исчислений логики.

В 40-х годах у теории алгоритмов, развивавшейся до этого в виде вполне абстрактной дисциплины, обнаружился мощный прикладной аспект, связанный с кибернетикой, вычислительной математикой и техникой и техническими приложе-

---

<sup>1</sup> Сравни «Конференция по философским вопросам кибернетики», «Вопросы философии» № 11, 1962, стр. 151.

ниями логики. Исследования в области технических приложений логики, начавшиеся еще в конце 30-х годов (К. Шеннон, советский ученый В. И. Шестаков и др.), привели к созданию логико-математической теории релейно-контактных электрических схем.

В дальнейшем эта теория вступила в тесные связи с развивавшейся начиная с конца 40-х годов теорией цифровых вычислительных машин, а также с теорией дискретных автоматов. Последняя приобрела важное значение в связи с работами по созданию автоматических систем дискретного действия для переработки информации (которые лежат в основе цифровых вычислительных машин и многих других технических средств кибернетики), выступив в качестве теоретической основы указанных технических систем. В своем современном виде теория дискретных (цифровых) автоматов охватывает широкий круг вопросов, связанных с изучением возможностей автоматизации тех или иных процессов переработки информации, повышением производительности и надежности работы автоматов и созданием эффективных методов их анализа и синтеза.

Теория автоматов, будучи вызвана к жизни запросами работ по конструированию автоматических систем дискретного действия по переработке информации (частным случаем которых являются универсальные цифровые машины), развивается, однако, не столько как техническая, сколько как математическая, точнее, логико-математическая теория (*теория конечных автоматов*). Дело в том, что изучение систем дискретного действия расчленяется на ряд уровней абстракции — от уровня математической теории достаточной степени общности, существенно использующей средства современной формальной логики, до уровня, относящегося к непосредственным расчетам схем автоматов, основанным на методах, заимствованных из радиотехники, импульсной техники и т. д. Теория конечных автоматов соответствует весьма высокому уровню абстракции. Она находится в тесном родстве с теорией алгоритмов, что объясняется фундаментальным значением в кибернетике метода алгоритмического описания систем управления. На этой основе большой размах получили работы по синтезу алгоритмов (соответственно конечных автоматов), по изучению их возможностей, по рассмотрению способов их описания и принципов их материальной реализации. Все это выдвинуло понятие алгоритма в число важнейших понятий кибернетики и теоретической и прикладной математики середины XX в. Потребности разработки способов реализации алгоритмов на цифровых машинах привели к разработке



методов программирования и начиная с 50-х годов к работам по автоматизации программирования.

Во всех отмеченных выше теориях и направлениях разработок находят широкое применение средства логических исчислений. Той частью логики, которая имеет наибольшие приложения в технике (в теории схем релейного действия, в теории конечных автоматов, в теории математических машин и т. д.), является исчисление высказываний (в его алгебраическом построении — алгебра логики). Исчисление предикатов также имеет связи с техникой, хотя и менее богатые, чем логика высказываний; эти связи состоят, в частности, в применении логики предикатов к теории логических сетей и конечных автоматов. Все большее приложение в кибернетике (в той же теории автоматов) получают многозначные логические исчисления. Вероятностная и современная индуктивная логики применяются при решении задач, касающихся построения автоматов, моделирующих выработку общих понятий и осуществление обобщающих выводов и т. д.

Помимо упомянутых разделов логики следует иметь в виду, что потребности технических и иных приложений логики породили целый ряд логических и логико-математических дисциплин, основанных на алгебраических, теоретико-множественных, топологических и иных методах, использующих идеи и средства теории алгоритмов и относящихся уже непосредственно к проблематике кибернетики. Помимо упомянутых теорий релейно-контактных схем и теории конечных автоматов здесь можно назвать теорию логических сетей, теорию графов, теорию нервных сетей, так называемую пороговую логику и др.

Можно считать, что в конечном счете связь логики с различными областями естествознания и гуманитарных наук и с техникой имеет свое основание в том, что логика представляет в распоряжение этих научных областей и техники точные «языки», с помощью которых становится возможным четкое описание работы машины, автомата, точная постановка задач, относящихся к данной области знания, и формулировка путей их машинного решения, строгое выражение закономерностей процесса, моделируемого с помощью автомата, и т. д. Например, Б. А. Трахтенбротом был разработан логический язык, в котором для описания операторов, реализуемых конечным автоматом, используются средства исчисления одноместных предикатов, причем исчисления не узкого, а расширенного — с кванторами по предикатам; при этом используются ограниченные кванторы по предметным переменным (областью их значений выступает дискретное, ограниченное

сверху время). Как отмечает С. А. Яновская, ясно, что именно здесь логика относится к делу по самому своему существу. «Ведь речь идет о логическом анализе описания оператора, указанного, например, словесно. Формула логического исчисления, формализующая это описание, представляет собой не что иное, как результат такого логического анализа, выраженный средствами, приспособленными именно для целей логики, — с помощью логических связей, предикатов и кванторов»<sup>1</sup>.

Органическую связь основной проблематики математической логики с общей теорией машин подчеркнула С. А. Яновская<sup>2</sup>. Поставив вопрос, правомерно ли говорить о технических приложениях именно математической логики, а не алгебры (булевой и иной), С. А. Яновская дала на него решительный ответ: правомерно. Более того, как она отметила, «подлинное существо дела в общей теории машин вскрывается именно средствами математической логики»; «особое значение для автоматизации имеет все же математическая логика, как таковая, а не просто как некоторая алгебра»<sup>3</sup>.

Подводя итог предшествующему изложению, поставим вопрос, каким же свойствам обязана математическая логика своим бурным проникновением в другие науки, в технику? Да тем, что в ее теориях и исчислениях находят свое выражение реальные способы рассуждения людей в самых разных областях познания и практической деятельности; что в теориях и системах математической логики выражаются определенные стороны действительной логики мышления людей, приводящие к открытию и доказательству истины.

Поэтому ясно, что, если философ — представитель диалектико-материалистической философии хочет внести свой вклад в дело изучения мышления (а ведь изучением мышления философия занималась издавна), он должен использовать результаты математической логики, применять ее средства при решении методологических и гносеологических вопросов, относящихся к мышлению.

\* \* \*

Рассмотрение методологических вопросов, относящихся к взаимоотношению кибернетики и логики, к оценке роли

---

<sup>1</sup> С. А. Яновская, О некоторых чертах развития математической логики и отношении ее к техническим приложениям, «Применение логики в науке и технике», М., 1960, стр. 17—18.

<sup>2</sup> См. там же.

<sup>3</sup> Там же, стр. 15—16.

логики в приложениях кибернетики в различных областях знания, в том числе гуманитарного, связано с осмыслением глубоких философских, логико-гносеологических аспектов кибернетики, а также с философским анализом математической логики.

Как известно, вокруг вопросов философского истолкования понятий и учений логики издавна происходила борьба между идеализмом и материализмом. Возникновение и развитие философии марксизма — диалектического и исторического материализма — привело к решительному опровержению идеалистических установок в области логики и дало последней прочную методологическую и мировоззренческую базу. Методология диалектического материализма позволяет правильно оценить познавательное значение современной формальной логики и ее взаимоотношения с различными естественными и гуманитарными науками и техникой. Она является основой для выявления и анализа философских вопросов, выдвинутых логической проблематикой кибернетики.

С вопросами приложений логики в науке и технике связан ряд философских вопросов, которые входят в диалектическую логику и теорию познания диалектического материализма. Говоря о диалектической логике, следует иметь в виду, что она носит исключительно содержательный характер и ни в какой своей части, с нашей точки зрения, не может быть (в отличие от формальной логики) представлена в виде исчислений.

С другой стороны, именно диалектическая логика — и вообще методология диалектического материализма — раскрывает теоретико-познавательное значение применяемого в математике, математической логике, кибернетике и других науках метода формализации, обнаруживает философское значение результатов, получаемых при построении и изучении логических и логико-математических исчислений.

Выше мы уже останавливались на методе формализации. Отметим теперь связанные с этим методом философские проблемы. Из самого существа метода формализации следует, что его применение всегда связано с известным огрублением конкретной развивающейся действительности. Однако это огрубление с диалектико-материалистической точки зрения является необходимой стороной процесса познания. Совершенствование средств формализации — позволяющее точнее, лучше, полнее, с меньшей степенью огрубления выражать формализуемое содержание — является важной стороной прогресса науки. Как мы уже имели случай подчеркнуть, в настоящее время этот прогресс наглядно выражается в развитии кибернетики, широком применении машинной математики и

средств автоматизации к самым различным сферам науки и техники.

Философское осмысление приема формализации строится на твердой основе результатов науки. Это вполне соответствует подходу диалектической логики, все плодотворные исследования в области которой необходимо предполагают тесные связи с целым рядом наук (с математикой и математической логикой, с нейрофизиологией и психологией, вообще с естественными и гуманитарными науками). Проводимое в диалектической логике и теории познания диалектического материализма изучение вопроса о роли абстракции в науке, о взаимоотношении научных теорий и их практических (в том числе технических) приложений опирается на результаты современной формальной логики, кибернетики, технических наук. Важной областью связи диалектической логики с новейшими достижениями науки является диалектико-материалистический анализ отношения между содержанием и формой познания — анализ, который использует результаты математической логики, полученные с помощью метода логической формализации<sup>1</sup>. Выводы диалектико-материалистической методологии, основанные на результатах математической логики, весьма важны для правильного понимания возможностей кибернетики в автоматизации умственного труда и в моделировании процессов мышления.

Вопрос о гносеологической роли формализации — лишь один из вопросов диалектической логики, выдвинутых развитием математической логики и кибернетики. Другие вопросы этого рода связаны с рассмотрением тех общих подходов к логическим исчислениям и теориям, которые выработались за три последних десятилетия. Необходимость таких подходов вытекает из чрезвычайного многообразия логических теорий и систем, требующих рассмотрения с некоторых общих точек зрения. Один из таких подходов связан с различием, с одной стороны, исчислений как определенных знаковых систем, строящихся из материальных (обычно графических) конструкций — формул и других знаков, — с которыми не связывают каких-либо значений (исчисление как синтаксическая система), и, с другой стороны, содержательных интерпретаций исчислений, т. е. систем тех объектов (быть может, и абстрактных), которые являются значениями указанных знаковых конструкций (семантика исчисления). Рассмотрение отношения между

---

<sup>1</sup> Более подробно о философских вопросах формализации см. Б. В. Вирюков, Математика и логика, «Диалектический материализм и вопросы естествознания», М., 1964.

исчислением как синтаксической системой и его содержательными интерпретациями составляет задачу логической семантики, в которой изучаются такие понятия, как понятие смысла (содержания, значения) языковых выражений (слов и предложений естественных языков, формул и других знаков логических исчислений и т. п.), понятия синонимии (т. е. равенства смыслов), отношения обозначения предмета именем, истинности (в применении к логическим исчислениям) и др. Именно благодаря логической семантике логика установила тесные связи с семиотикой — наукой о знаках и системах знаков, об их значении и смысле, а также об их употреблении в общении людей, в технике, в гуманитарных областях знания и т. д. Логическая семантика и семиотика утвердили взгляд на интерпретированные логические исчисления как на искусственные формализованные языки, приспособленные для формулирования и решения логических проблем научного познания и практики.

С логической семантикой и семиотикой связана целая гамма философских вопросов. Положения диалектико-материалистической философии о знаках и языке служат прочной базой для правильного методологического подхода к логической семантике и семиотике и для разработки философских вопросов этих областей знания.

С точки зрения диалектического и исторического материализма знаки и знаковые системы возникают и развиваются как материальная форма, в которой осуществляется приобретение, хранение, преобразование и передача сообщений (информации, знаний) в человеческих коллективах, объединенных в первую очередь задачами материального производства; знаки и знаковые системы являются материальной формой выражения мысленных и чувственных образов, в которых происходит отображение действительности в сознании человека; объективные свойства определенных предметных областей внешнего мира определяют в конечном счете существенные черты тех материальных образований, которые могут быть использованы в качестве знаковых систем для выражения знаний об этих областях; знаковые системы являются важным средством познания, а их изучение — актуальной задачей науки.

Другой общий подход к логическим теориям и исчислениям связан с выявлением тех абстракций (способов абстрагирования), с помощью которых вводятся в рассмотрение объекты логики, математики и кибернетики. Проблема исходных абстракций этих наук, состоящая в определении

путей, по которым целесообразно идти для выявления, уточнения или ограничения основных отвлечений и предположений, на которых строится кибернетика, имеет большое методологическое, теоретическое и конкретно-техническое значение. Важнейшими из такого рода абстракций, — в выявление значимости которых большой вклад внесли советские ученые (А. А. Марков, Н. А. Шанин, С. А. Яновская и др.), — являются *абстракция отождествления* и *абстракция потенциальной осуществимости*. Существенно, что развитие кибернетики и технические приложения логики пролили дополнительный свет на абстракцию отождествления, воочию продемонстрировав трудности, возникающие при машинизации процессов различения и отождествления объектов (работы по автоматическому распознаванию образов), а также на абстракцию потенциальной осуществимости. В связи с последней было обнаружено, что при приложении логики к вопросам, связанным с конечными автоматами, средства логики во многих случаях следует применять так, чтобы не использовать эту абстракцию.

К описываемому кругу вопросов примыкает задача диалектико-логической характеристики различных уровней абстракции (абстрагирования) и идеализации в применении к тем или иным понятиям и теориям кибернетики. Дело в том, что развитие теоретической кибернетики, а также потребности технических приложений логики и разработка логических основ машинной математики и техники заставляют вступать на путь введения в кибернетику — в теорию автоматов, теорию математических машин и другие кибернетические дисциплины — различных уровней абстракции (абстрагирования, отвлечения). В качестве примера можно сослаться на упоминавшуюся выше теорию конечных автоматов<sup>1</sup>. Эта теория соответствует логико-математическому уровню изучения систем дискретного действия. Это находит свое проявление в той системе абстракций (отвлечений), на которой покоится такое «естественное» понятие, как понятие конечного автомата<sup>2</sup>. Это понятие предполагает отвлечение от непрерыв-

---

<sup>1</sup> См. Н. Е. Кобранский и Б. А. Трахтенброт, Введение в теорию конечных автоматов, М., 1962; В. М. Глушков, Синтез цифровых автоматов, М., 1962.

<sup>2</sup> Под конечным автоматом обычно понимается устройство, которое имеет конечное число четко различимых внутренних состояний — конечную (внутреннюю) память — и конечное число входов, воспринимающих информацию, изображаемую различными символами (сигналами), множество которых также конечно; это устройство реализует некоторый алгоритм переработки информации (некоторый оператор) в силу определенной зависимости характера сигналов на его выходах от харак-

ного характера течения времени и рассмотрение работы конечного автомата в дискретно изменяющемся времени. С ним связана, далее, идеализация реальных сигналов: считается, что сигналы, несущие информацию, имеют дискретные фиксированные уровни. Имеет место отвлечение от мощности сигналов, пренебрежение неизбежной инерцией элементов, из которых строятся автоматы, и т. д. Ослабление или отказ от тех или иных из перечисленных выше отвлечений и идеализаций приближает теорию к техническим реализациям. Наоборот, рассмотрение конечных автоматов на более высоком уровне абстракции, связанном с использованием идеи потенциальной осуществимости в применении к объему памяти автомата — т. е. с предположением о возможности ее неограниченного расширения — приводит к понятию машины Тьюринга, являющемуся одним из существующих уточнений понятия алгоритма. Различные уровни абстракции существуют и в пределах самой теории конечных автоматов. Исследование различных задач из круга этой теории осуществляется на двух уровнях, соответствующих так называемым абстрактной и структурной теориям. В абстрактной теории автоматов поведение последних, т. е. характер осуществляемого ими преобразования информации, изучается в отвлечении от их внутреннего устройства. В структурной теории автоматов в рассмотрение вводится внутренняя конструкция автомата. В абстрактной теории внимание исследователя направлено на изучение характера переработки информации, осуществляемой автоматом, и на выяснение функциональной зависимости между информацией, поступающей на вход устройства, и информацией, вырабатываемой на его выходе. По сравнению с абстрактной теорией автоматов в структурной теории учитывается большее число свойств реально существующих автоматов<sup>1</sup>.

Связанная со всем этим методологическая проблематика, относящаяся, например, к вопросу о том, как выбирать пути

---

тера сигналов на его входах. В такой трактовке понятие конечного автомата, — являющееся результатом целого ряда актов абстракции и идеализации, предстает перед нами в качестве абстрактной математической модели реальных устройств синхронного действия, перерабатывающих дискретную информацию.

<sup>1</sup> В этой теории изучаются способы построения сложных автоматов из более простых, рассматривается взаимосвязь между конструкцией автомата и реализуемым им оператором переработки информации, решается задача получения — на основе анализа функциональных свойств элементов и их соединения в схеме автомата — описания оператора, реализуемого автоматом, и т. д.

отвлечения или конкретизации, чтобы получить теорию, позволяющую разрешить требуемые теоретические или прикладные задачи, представляет собой по существу частный случай философской проблематики, относящийся к путям и целям введения и исключения в науке так называемых абстрактных объектов (философскими вопросами этого рода у нас занимается С. А. Яновская). Задача изучения роли абстрактных объектов в современной науке (именно такими абстрактными объектами являются упоминавшиеся выше конечный автомат и машина Тьюринга) является важным вопросом диалектической логики, связанным с кибернетикой.



## СОДЕРЖАНИЕ

От редакторов книги . . . . .	3
Кибернетика и строительство коммунизма. А. И. Берг . . . . .	5
Кибернетика и философия . . . . .	20

### 1. Кибернетика как наука

Что такое кибернетика? А. А. Марков . . . . .	39
О кибернетике как науке. В. М. Глушков . . . . .	53
О теоретических проблемах кибернетики. А. А. Ляпунов, С. В. Яблонский . . . . .	62
О философской проблематике кибернетики. Б. В. Бирюков, В. С. Тютин . . . . .	76
К вопросу о единстве предмета и метода кибернетики. И. Б. Новик	109
К вопросу о предмете кибернетики. П. И. Дышлевый . . . . .	140
О некоторых важных философских вопросах кибернетики. В. С. Ка- заковцев . . . . .	144
Кибернетика и некоторые задачи философии. М. Г. Гаазе- Рапопорт . . . . .	152
К вопросу о философской проблематике теории игр. Н. Н. Во- робьев . . . . .	157
К вопросу о генетической связи кибернетики с классической авто- матикой. В. Н. Свинцицкий . . . . .	164
О структуре понятий кибернетики. Н. П. Ерастов . . . . .	172

### 2. Кибернетика и жизнь

О строении управляющих систем живой природы. А. А. Ляпунов	177
Кибернетика и пути изучения мозга. А. В. Напалков . . . . .	182
Кибернетика и проблема изучения жизни. Ш. Г. Адэишвили	193
О моделировании функций живой системы. К. С. Тринчер	206
О некоторых характерных чертах и тенденциях развития киберне- тики Г. Б. Линковский . . . . .	221

### 3. Кибернетика и изучение познавательных психических процессов

Некоторые особенности процесса переработки информации человеком. А. Н. Леонтьев, Е. П. Кринчик . . . . .	227
О моделирующих свойствах нервной системы. Е. Н. Соколов	242
Моделирование функций мозга и высшая нейродинамика. Е. И. Бойко . . . . .	280
Сущность отражения и теория информации. В. С. Тютин	309
О некоторых приложениях теории информации. А. А. Брудный	318
О проблеме моделирования мышления и жизни. А. И. Прохоров	321
О некоторых философских аспектах проблемы моделирования мышления кибернетическими устройствами. Л. Б. Баженов	326
Аналогия как метод решения проблемы соотношения машины и мышления. А. И. Уемов . . . . .	340
О принципиальных возможностях кибернетического моделирования. С. М. Шалютин . . . . .	347

### 4. Кибернетика и вопросы логики и методологии научного исследования

Модели науки и кибернетика. В. В. Чавчанидзе . . . . .	365
Некоторые гносеологические аспекты кибернетики. Б. С. Грязнов	395
Причинные сети и моделирование процессов. Ю. Я. Базилевский	408
Процессы обучения людей и автоматов. А. А. Фельдбаум . . .	421
О методологических вопросах рационализации обучения. Ю. А. Гастев . . . . .	459
О некоторых вопросах автоматизации умственного труда. Н. Г. Бруевич . . . . .	473
Гуманитарные науки, логика и кибернетика. Б. В. Бирюков	481
А. Г. Спиркин . . . . .	

КИБЕРНЕТИКА, МЫШЛЕНИЕ, ЖИЗНЬ. Под  
ред. А. И. Берга, Б. В. Бирюкова, И. Б. Но-  
вика, И. В. Кузнецова, А. Г. Спиркина. М.,  
«Мысль», 1964. 511 с. 1 М

Редактор *М. Рыжова*

Младшие редакторы *Г. Золкина, А. Тарасова*

Оформление художника *Ю. А. Боярского*

Художественный редактор *Г. Чеховский*

Технический редактор *Л. Уланова*

Корректоры *С. Игнатова, Т. Шпиленко*

Сдано в набор 29/V 1964 г. Подписано в печать  
3/XI 1964 г. Формат бумаги 60×90<sup>1</sup>/<sub>16</sub>. Бумажных  
листов 16. Печатных листов 32. Учетно-изда-  
тельских листов 30,4. Тираж 14 000 экз. А08848.  
Цена 1 р. 92 к. Заказ № 1072.

БЗ № 23 — 1964 г. — № 18

Издательство  
социально-экономической литературы  
«Мысль»

Москва, В-71, Ленинский проспект, 15.

Ленинградская типография № 1 «Печатный Двор»  
имени А. М. Горького Главполиграфпрома Го-  
сударственного комитета Совета Министров СССР  
по печати, Гатчинская, 26.

1 р. 92 к.

**Издательство «Мысль»**