МАТЕРИАЛИСТИЧЕСКАЯ ДИАЛЕКТИКА — ЛОГИКА И МЕТОДОЛОГИЯ СОВРЕМЕННОГО ЕСТЕСТВОЗНАНИЯ

Редакционная коллегия:

академик В. А. Амбарцумян,
член-корреспондент АН СССР Д. И. Блохинцев,
академик В. М. Глушков, академик АН УССР Б. В. Гнеденко,
академик Н. П. Дубинин, академик Б. М. Кедров,
академик И. М. Лифшиц, член-корреспондент АН СССР
М. Э. Омельяновский,
доктор философских наук Ю. В. Сачков, академик Н. Н. Семенов,
академик ВАСХНИЛ Н. В. Турбин,
доктор философских наук Б. С. Украинцев,
академик Е. К. Федоров, доктор философских наук Е. В. Шорохова

КИБЕРНЕТИКА И СОВРЕМЕННОЕ НАУЧНОЕ ПОЗНАНИЕ

ИЗДАТЕЛЬСТВО «НАУКА»
МОСКВА
1976

В книге анализируются проблемы формирования основных понятий кибернетики, раскрывается роль системного подхода, теории информации и теории исследования операций в расширении возможностей современного научного познания; рассматриваются особенности творческого процесса, в частности феномена активности, в связи с разработкой теории самоорганизации, процесс машинного вывода теорем, возможности и ограничения моделирования художественного творчества.

Редакционная коллегия книги:

доктор философских наук профессор В. С. ТЮХТИН (ответственный редактор),

доктор философских наук профессор Б. С. УКРАИНЦЕВ,

доктор философских наук профессор А. Д. УРСУЛ,

кандидат философских наук В. И. КРЕМЯНСКИЙ

К $\frac{10502-128}{042(02)-76}$ БЗ–35–2–75 г.

© Издательство «Наука», 1976 г.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Книга входит в новую серию работ отдела философских вопросов естествознания Института философии АН СССР. В этой серии под названием «Материалистическая диалектика — логика и методология современного естествознания» предполагается выделить новые проблемы, в частности, полнее раскрыть специфику диалектики процесса познания как особого объекта исследования. Настоящая книга и посвящена данной проблеме применительно к анализу роли кибернетики в современном научном познании.

Темы статей выбирались с учетом их актуальности и недостаточной разработанности в современной литературе. Статьи распределены по трем основным разделам книги. Разумеется, деление это несколько условно. В первом разделе книги — «Основные идеи кибернетики и научное познание» — авторы Б. С. Украинцев, В. А. Бокарев, Г. В. Коренев, Э. П. Семенюк, Н. Т. Абрамова, В. Н. Свинцицкий, В. И. Кремянский и Е. А. Мамчур основное внимание уделяют анализу таких сложных и актуальных проблем, как предмет, методы и принципы кибернетики, содержание ее основных понятий (управление, целенаправленность, обратная связь, информация, сигнально-информационная причинность, система, структура, функция, самоорганизация, системность информации и др.). Рассматриваются и такие общие проблемы, как статус общенаучных понятий в системе естественнонаучного и философского познания, системность научного знания, специфика идеализаций и абстракций в науке, соотношение эмпирического и теоретического уровней знания, влияние кибернетических идей на развитие механики, физиологии высшей нервной деятельности и других наук.

Во втором разделе — «Методы кибернетики в познавательной деятельности» — В. И. Сифоров, Е. К. Войшвилло, А. А. Ветров, А. Д. Урсул, Б. В. Бирюков, Н. М. Мамедов, И. Б. Новик, М. М. Новоселов развивают гносеологические, методологические и логические идеи создания информологии, семантической информации, семиотики, машинных языков, исследования операций, теории игр, теории «расплывчатых» алгоритмов, кибернетического моделирования, теории оптимизации и логической теории отношений.

Третий раздел книги — «Познавательные возможности «искусственного интеллекта»» — состоит из статей В. С. Тюхтина, Б. А. Ласточкина, В. Н. Тростникова, Ю. В. Орфеева, В. О. Голубинцева, В. М. Купаева и А. С. Митрофанова, в которых исследуются активность субъекта познания, интуиция и творчество, сознание и разум человека, формальная и диалектическая логика,

содержательность знания и границы его формализации (математизации), психология восприятия человека и «распознавание образов» на ЭВМ, сущность и информационные возможности вычислительной техники, принципы программирования вывода теорем на ЭВМ, машинного перевода с языка на язык, моделирования организации музыкального и поэтического текста, «парадоксальности» существования произведения искусства и др. Диалектико-материалистическая разработка названных проблем во многих статьях сочетается с критикой махизма, неопозитивизма, инструментализма, механицизма, вульгарного материализма в философии и формализма в эстетике и искусстве. Безусловно, не все вопросы, относящиеся к кибернетическому циклу, нашли освещение в этой работе. Таковы, например, методологические вопросы разработки математического аппарата, приспособленного к описанию психической деятельности, вопросы информатики, проблемы оптимизации связи человека и машины в автоматизированных системах управления.

В ряде статей развиваются положения, носящие дискуссионный характер.

В коллектив авторов этой книги входят не только философы — сотрудники Института философии АН СССР и вузов страны, но и специалисты по теоретическим проблемам кибернетики и смежным вопросам: директор Института проблем передачи информации член-корреспондент АН СССР В. И. Сифоров, специалист по теоретической механике и теории автоматического управления профессор Московского физико-технического института Г. В. Коренев, специалисты в области вычислительной техники В. О. Голубинцев и В. М. Купаев.

В целом книга «Кибернетика и современное научное познание» является конкретной попыткой творческого укрепления союза философии и специальных наук, усиления взаимосвязи общественных, естественных и технических наук,— эта задача поставлена перед советскими учеными в «Основных направлениях развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы» XXV съездом КПСС.

Руководитель коллективных трудов серии «Материалистическая диалектика — логика и методология современного естествознания» член-корреспондент АН СССР М. Э. Омельяновский.

В технической подготовке книги принимали участие Е. В. Матюнина, А. М. Дорожкин, И. Б. Шамышев, Н. И. Ключникова.

Выпуская эту книгу, редколлегия надеется, что контакты со специалистами по кибернетике будут расширяться и углубляться.

Раздел I

ОСНОВНЫЕ ИДЕИ КИБЕРНЕТИКИ И НАУЧНОЕ ПОЗНАНИЕ

КИБЕРНЕТИКА И СИСТЕМА НОВЫХ НАУЧНЫХ ПРИНЦИПОВ

Б. С. Украинцев

Кибернетика возникла не так давно, но она уже имеет свою историю успехов и пока несбывшихся надежд, свои традиции, впечатляющую по объему литературу, своих почитателей и скептиков, восторженных адептов и трезвых исследователей, научных популяризаторов и популяризаторов-мифотворцев. Взрыв «кибернетического» энтузиазма, который потряс воображение многих ученых и широкую массу любителей науки, ныне сменяется спокойным, деловым отношением к кибернетике, анализом ее реальных возможностей решения конкретных задач той или иной частной науки. Иногда раздаются отдельные голоса разочарования, упреки в том, что кибернетика не помогла немедленно ответить на вопросы, которые мучают исследователей не один десяток лет, голоса, ставящие даже под сомнение научный статут кибернетики на том основании, что она не может перечислить «своих» законов.

Нам представляется, что и деловой энтузиазм, и некоторый скептицизм в конечном счете имеют некоторое основание в особой природе и месте кибернетики в системе научного знания, в характере научных понятий и принципов кибернетики, в ее подходе к предмету исследования и, наконец, в масштабах требований, предъявляемых новому научному направлению.

На первый взгляд и возникновение кибернетики было еще одним шагом на пути дальнейшей дифференциации науки, поскольку появилась новая дисциплина со своим предметом и своими задачами. Так ли это?

О статуте кибернетики

Прежде всего следует поставить вопрос: можно ли считать кибернетику частной наукой, такой, как квантовая физика, молекулярная биология или теория права? Мы полагаем, что причины и история появления кибернетики, ее научное содержание говорят о том, что она не является еще одной частной дисциплиной, а представляет собой научное направление, связывающее в неко-

торый научный регион обобщающими идеями и принципами ряд дисциплин, занимающихся изучением различных классов самоуправляемых систем. Это обстоятельство выразил, хотя и недостаточно полно, один из основоположников кибернетики Н. Винер, назвав свой известный труд «Кибернетика, или управление и связь в животном и машине» [Винер Н., 1958].

Как научному направлению, охватывающему своими выводами и принципами, обобщающими понятиями различные частные науки, кибернетике присущи некоторые методологические функции регионального значения. В этом отношении кибернетика схожа с отраслями знания, с такими, например, как физика в целом, биология в целом и т. д. Действительно, физика как отрасль знания выполняет своими фундаментальными принципами и понятиями, законами (например, законом сохранения материи и энергии) методологическую функцию для отдельных физических дисциплин. То же самое можно сказать про биологию и другие отрасли знания.

Обобщающие научные идеи, общие научные принципы и научные понятия, как правило, становятся теоретической основой метода решения частных научных задач. В силу этого обстоятельства кибернетике присущи некоторые методологические функции регионального значения для ряда частных наук. В этом отношении она схожа с головными дисциплинами отраслей знания, вооружающими остальные дисциплины общими понятиями и принципами методологического значения. На этом, пожалуй, сходство кончается, поскольку кибернетика не является частной наукой и не стала головной дисциплиной какой-либо отрасли знания, аналогично общей физике по отношению к другим физическим дисциплинам.

Общие принципы и понятия кибернетики имеют важное значение для биологии, некоторое значение для отдельных общественных наук и для ряда технических наук. Но эти принципы и понятия не являются основополагающими для биологии, социологии или других отраслей знания. Последние имеют свои фундаментальные принципы и понятия, а кибернетические идеи имеют для них вспомогательное, подчиненное, хотя и очень важное значение, поэтому кибернетика не выполняет и не может выполнить функции головной науки по отношению к биологии, социологии или другой отрасли знания. У кибернетики другая задача — объединение некоторых отраслей знания в научный регион по каким-то общим свойствам объектов их изучения.

Возможно, что идет процесс образования кибернетической отрасли знания, охватывающей такие частные дисциплины, как теория информации, теория управления, теория игр и ряд других. Если это так, то следует иметь в виду, что образование такой отрасли резко отличается от возникновения других отраслей знания. Во-первых, почти все «кибернетические» дисциплины возникли до появления кибернетического научного направления и некоторое время развивались относительно самостоятельно. Во-вторых, пока нет основания утверждать, что уже существует головная дисципли-

на отрасли — кибернетика как таковая. Пока существует кибернетика как научное направление, кибернетическая отрасль (если она действительно существует) может попеременно возглавляться то одной, то другой «кибернетической» дисциплиной. Одно время ведущей была теория информации. Возможно, что в дальнейшем лидером станет другая дисциплина в зависимости от условий и логики развития кибернетического направления в целом.

Специфика кибернетики как регионального научного направления предопределяет и успехи, и неудачи ее применения в зависимости от предъявляемых к ней требований и умения использовать ее возможности. Применяемая в ее естественной роли регионального научного направления, кибернетика, несомненно, имеет эвристическое значение в частнонаучных исследованиях. При этом она *помогает* решать сложные частнонаучные задачи, и в этом смысле ее вклад трудно переоценить. И наоборот, возможности кибернетики сводятся к минимуму, как только положениями кибернетики пытаются подменить содержание той или иной частной науки и от кибернетики ожидают исчерпывающего *решения* (преимущественно кибернетическими средствами) проблем биологии, социологии и некоторых других наук.

Так же, как и частные науки, научные направления имеют свой предмет. Следует напомнить широко известную мысль о том, что в отличие от наук, изучающих формы движения различных видов материи (физики, химии, биологии, социологии), кибернетика отвлекается от субстрата, от конкретных форм организации материи, конкретных носителей движения. Ей свойствен функциональный подход — изучение самодвижения некоторых классов материальных систем безотносительно к их специфической материи.

Предмет кибернетики в некотором смысле абстрактен и в этом кибернетика имеет сходство с математикой. Кибернетику интересуют общие принципы самодвижения не всех материальных систем, а только функциональных, или, иначе говоря, самоуправляемых систем, в число которых входят живые, социальные и некоторые технические системы, отличающиеся друг от друга по субстрату, уровню организации, форме самодвижения, но функционирующие в соответствии с общими для них принципами и закономерностями. Учитывая все это, можно было бы в качестве краткого определения предмета кибернетики принять следующее: *кибернетика есть региональное научное направление*, задачей которого является выдвижение общих принципов и исследование общих закономерностей самодвижения самоуправляемых систем средствами взаимосвязанных «кибернетических» частных наук (теории информации, теории автоматов, теории игр и др.). Само собой разумеется, что приведенное определение не претендует на законченность хотя бы потому, что становление кибернетики находится в начальной стадии и пока невозможно предугадать ни объема, ни характера проблем, которые выдвинет это перспективное научное направление.

Предмет кибернетики обусловливает характер ее метода, способ постановки и решения ее задач, практического применения полученных результатов. Как правило, фундаментальные проблемы кибернетики рождаются потребностями частных наук, занимающихся исследованием определенных классов функциональных систем. Теоретическое решение этих проблем кибернетическими средствами не может быть непосредственно реализовано на практике. Для того, чтобы превратить схемы абстрактных кибернетических систем в действительно действующие принципы реальных систем, необходимы средства и методы частных наук, занимающихся исследованием не вообще функциональных систем, а функциональных систем «во плоти», т. е. живых, социальных или технических систем, которые существуют и функционируют в своем специфическом материальном воплощении.

Появление нового научного направления так или иначе выражает потребности развивающейся науки в дифференциации знания. Рождение кибернетического научного направления явилось еще одним шагом на пути удовлетворения этой потребности. Однако не это обстоятельство определяет значение и роль кибернетики в современной науке. Не менее, если не более, велика потребность современной науки в синтезе знания, без которого наука превращается в коллекцию разрозненных идей. Кибернетика в большей мере выражает вторую потребность, так как ее главная функция состоит в *синтезе* знания, особенно необходимом при ускоряющемся процессе его расщепления на частные дисциплины. Такова объективная диалектика: тенденция синтеза знания прокладывает себе дорогу в форме дальнейшей дифференциации науки.

Принципы кибернетики

Продолжающийся процесс становления кибернетики является процессом формирования *системы* новых научных принципов и понятий, отображающих функциональную общность всех классов самоуправляемых систем, начиная от живых и кончая социальными системами. Мы говорим о системе принципов и понятий, имея в виду их неразрывную связь и взаимообусловленность в рамках целостного научного направления. Это, конечно, не означает, что некоторые принципы и общие понятия кибернетики не могут вводиться и исследоваться частными «кибернетическими» науками как относительно самостоятельные феномены. Так, например, теория информационной связи может отвлечься от понятия «управление» и даже от содержания передаваемых по каналу сигналов и оперировать понятием «информация» при рассмотрении некоторых инженерных задач телеграфной, телефонной и других видов связи. Задолго до появления кибернетики принцип обратной связи использовался и теоретически исследовался в радиотехнике и биологии.

Известно, что Н. Винер уделял много внимания принципу обратной связи и исследовал его в общетеоретическом плане как

общий принцип всех процессов управления. Это дало повод для возникновения в литературе по кибернетике некоторой традиции сводить содержание кибернетики к теории обратной связи [см.: Черри К., 1972, с. 45]. Нам представляется, что сведение кибернетики к теории обратной связи обедняет содержание этого научного направления и не помогает раскрыть целостную систему его новых принципов и понятий.

Как уже отмечалось, основные принципы и понятия кибернетики — это принципы самодвижения самоуправляемых систем вообще, независимо от конкретного субстрата каждой системы в отдельности. Не претендуя на строгую генетическую или логическую последовательность, перечислим некоторые из этих принципов, так или иначе получивших свое освещение или упомянутых в работах по кибернетике.

Мы полагаем, что основным принципом существования и функционирования самоуправляемых систем следует считать *принцип активного самодвижения на основе регулярного воспроизводства маловероятных состояний элементов, подсистем или самоуправляемой системы в целом за счет использования энергии внешней среды.*

Всякий процесс самоуправления представляет собой «слабое» воздействие управляющего «элемента» на управляемый — исполнительный элемент для достижения определенного результата, который не может быть получен средствами одного лишь управляющего «элемента» самоуправляемой системы. Для того чтобы такое воздействие было не единичным, а повторяемым в дальнейшем актом, самоуправляемая система в целом должна обладать регулярно возобновляемым и достаточным количеством степеней свободы, т. е. ее элементы или подсистемы должны обладать способностью и возможностями переходить от более вероятных в физическом смысле слова к менее вероятным состояниям за счет использования энергии внешней среды [Сент-Дьерди А., 1964]. Такой переход в отличие от реактивного изменения состояния физической системы под воздействием внешней среды характеризуется высокой активностью, выражающейся в способности самоуправляемой системы выбирать свое поведение независимо от физического принципа наименьшего действия или принципа наибольшей вероятности без нарушения второго начала термодинамики или какого-либо другого закона физики.

Последняя имеет дело с отдельными случаями усиления, при котором слабые воздействия одних физических объектов на другие приводят к крупномасштабным физическим событиям. Однако эти процессы усиления не являются процессами управления, так как физическая система всегда переходит от менее вероятного состояния к более вероятному и процесс усиления самопроизвольно не возобновляется. Кибернетика же рассматривает самопроизвольно и регулярно возобновляемые акты воздействия управляющего на управляемое в живых, социальных и некоторых технических само-

управляемых системах, совершаемые за счет использования энергии внешней среды.

Хотя кибернетика отвлекается от субстрата процессов самоуправления, но не настолько, чтобы в своем основном принципе не учитывать *источника высокой активности самоуправляемых систем*. Она не может в своих построениях элиминировать энергетические процессы полностью, так как последние являются физической основой процессов самоуправления, процессов воздействия управляющего на управляемое. С позиций общей теории систем этот принцип кибернетики рассматривается под углом зрения так называемых «открытых систем», обладающих возможностью вступать в процессы обмена веществом и энергией с окружающей средой.

Процесс управления предполагает определенную общность между управляющими и исполнительными «элементами» самоуправляемой системы, способность управляющего воздействовать на данное управляемое и способность управляемого воспринимать воздействия управляющего и «подчиняться» ему. Короче говоря, управляющее и управляемое должны взаимно сопрягаться, в противном случае регулярно возобновляемый процесс управления не осуществим.

Сопряжение управляющего и управляемого характеризуется отношением относительной первичности управляющих «элементов» и вторичности управляемых, отношением некоторого подчинения исполнительных элементов главенству управляющих «элементов». Иначе говоря, между управляющим и управляемым устанавливается отношение иерархии или субординации.

Такое отношение или *принцип иерархичности* (субординации) является одним из основных принципов кибернетики. Сказанное не означает, что исполнительные элементы полностью отстраняются от функции управления. Иерархия управляющих и исполнительных элементов не абсолютна, а относительна. В зависимости от условий управления и уровня организации самоуправляемой системы исполнительные элементы вступают в процесс управления как активное воздействующее начало, оказывающее существенное влияние на управляющие элементы (например, при осуществлении обратной связи).

Физика и другие науки о неживой природе не встречаются с явлениями планомерного функционирования физических систем, при котором каждому их действию должен предшествовать учет особенностей внешней среды и внутренних возможностей самой системы. Поэтому физика не нуждается в изучении активных форм отображения, ограничиваясь физическими (реактивными) формами отображения, которые используются при экспериментальном изучении физических явлений, недоступных непосредственному наблюдению.

В противоположность этому биология, некоторые технические науки, общественные науки и кибернетическое научное направле-

ние не могут обойти активные формы отображения, присущие всем самоуправляемым системам. Функционирование самоуправляемых систем обусловлено *согласованием* процессов самоуправления с внешней средой и возможностями самой системы. Если нет соответствия между запланированными действиями системы внутренним и внешним условиям ее функционирования, разрушение системы в конечном счете неизбежно. Для осуществления нормального функционирования самоуправляемая система должна учитывать свои возможности и особенности внешней среды как условия и одновременно препятствия своего существования. Это достигается активным отображением свойств окружающей среды и самоотображением собственных состояний системы, главным образом посредством специализированных отображательных органов (органов ощущений у животных, механизмов раздражимости у растений, датчиков в искусственных самоуправляемых системах).

Все формы отображения в том или ином виде являются проявлением общей для них сущности: везде и всюду процесс отображения есть воспроизведение особенностей оригинала иными средствами и в иной форме в виде изменения процессов отображающей системы под воздействием оригинала. *Активным* отображение становится тогда, когда оно избирательно воспроизводит в другой форме жизненно важные для отображающей (самоуправляемой) системы особенности и тенденции изменения внешней среды, когда оно является одновременно самоотображением системы, отображением хода и результатов ее взаимодействия с окружающей средой и, что очень важно, когда оно выступает как одна из внутренних причин выбора поведения самоуправляемой системы.

Отображение может быть названо активным постольку, поскольку оно вступает во взаимодействие с другими процессами самоуправляемой системы, составляющими энергетическую, силовую и вещественную основу самоуправления, и направляет их сообразно потребностям выживания и развития системы в соответствии с внешними и внутренними условиями ее функционирования.

В зарубежной литературе по кибернетике роль отображательных процессов в функционировании самоуправляемых систем специально не рассматривалась, хотя все рассуждения авторов о принципе обратной связи по существу исходят из предположения, что самоуправляемая система получает «сведения» о свойствах внешнего мира и результатах своего поведения. На роль отображения в процессах управления и связи впервые обратили внимание советские авторы [см., например, работы Новика И. Б., 1963; Тюхтина В. С., 1963; Украинцева Б. С., 1963; Урсула А. Д., 1968]. Был выдвинут принцип активного отображения и самоотображения как один из основных принципов функционирования самоуправляемых систем [Украинцев Б. С., 1972, с. 47].

Связь между элементами физических систем осуществляется посредством физических взаимодействий, в результате которых

происходят вещественные, полевые, энергетические и структурные изменения взаимодействующих объектов. Элементы физических систем объединяются в целостное образование только посредством физических взаимодействий. По этой причине физика, являющаяся до настоящего времени общепризнанным лидером естественных наук, не нуждается для описания физической реальности в понятиях «информация», «информационная причинность», «информационная связь», если не рассматривать приложения идей теории информационной связи при создании технических средств обработки результатов физических экспериментов и не считать обыденное употребление слова «информация» для обозначения знания, полученного физиком при исследовании физического объекта

Биологические, многие общественные и технические науки изучают материальные системы, элементы которых помимо физических, химических, физиологических взаимодействий связаны еще принципиально новой по сравнению с физическими системами связью — информационной связью. При этом новая форма связи настолько важна для сохранения целостности самоуправляемых систем, что может быть названа для них решающей.

Без регулярно осуществляемой информационной связи невозможно функционирование самоуправляемой системы и сохранение ее целостности. Ослабление или полная потеря информационной связи элементов самоуправляемой системы неизбежно приводит к разрушению всех других связей, к прекращению физических и других взаимодействий в рамках системы как целостного образования, к распаду системы.

Если принцип активного отображения и самоотображения выражает способ согласования действий самоуправляемой системы с внешними условиями и ее возможностями, то информационная причинность и принцип информационной связи раскрывают форму, при помощи которой содержание отображения приобретает свойство коммуникабельности и становится реальным фактором управления действиями самоуправляемой системы.

Проблемам информационной связи (чаще ее называют просто связью) посвящено большое количество работ. Многие авторы исследуют метрический аспект передачи информации по каналу связи в форме сигнала, решая задачи максимальной пропускной способности канала при наименьших искажениях сигналов. К сожалению, пока еще мало опубликовано исследований, посвященных количественному анализу содержательной стороны информационной связи, хотя эта проблема имеет принципиальное значение для теории управления, поскольку последняя всегда связана с ценностным отношением самоуправляемой системы к явлениям внешней среды.

В мире физических явлений отсутствует ценностный критерий результатов взаимодействий объектов, которые безразличны взаимодействующим физическим системам, и до начала взаимодействия ни одна из систем не предопределяет его результат в зависимости

от задачи сохранения своей целостности. Такой задачи в мире физических систем попросту не существует.

Самоуправляемые системы коренным образом отличаются от простых физических систем направленностью своего функционирования на достижение определенного результата, в каких-то пределах независимого от изменения внешних условий. Функционирование самоуправляемых систем всегда есть процесс обеспечения сохранения их целостности и качественной определенности. По этой причине внутренние изменения самоуправляемых систем, как правило, функционально инварианты в смысле их направленности на достижение строго определенного результата, необходимого для выживания системы и ее дальнейшего развития, если самоуправляемая система достаточно высокоорганизована для саморазвития. Такая функциональная инвариантность осуществляется как процесс целеполагания и целеосуществления, который является объективным функциональным явлением, независимо от того, осознан он в случае сознательной человеческой деятельности или протекает без участия сознания во всех остальных случаях деятельности самоуправляемых систем.

Принцип целеполагания неразрывно связан с принципами активного отображения и информационной связи, так как формирование цели — функционального инварианта — осуществляется на основе обобщения содержания прошлых отображений внешней среды, самоотображений системы и отражения ее потребностей, обобщения, осуществляемого при помощи информационной связи элементов системы в пространстве и их состояний во времени.

В целом процесс целеполагания и целеосуществления является одной из важнейших форм активного отображения действительности, при котором обобщенное содержание прошлых отображений в виде опыта системы становится внутренней причиной направленных действий самоуправляемой системы в окружающей среде.

Целеосуществление невозможно без сопоставления получаемых системой результатов с целеположенными и на этой основе корректирования действий самоуправляемой системы таким образом, чтобы расхождение между поставленной, т. е. исходной, и реализованной целями было наименьшим. Все это достигается посредством обратной связи исполнительных элементов с управляющими.

Мы не будем подробно останавливаться на принципе обратной связи, поскольку он всесторонне освещен в работах по управлению. Отметим только, что обратная связь реализуется посредством отображения исполнительными и управляющими элементами результатов взаимодействия системы с внешней средой и, как правило, на основе информационной связи элементов системы или самоуправляемых систем в сообществе.

Рассмотренные выше принципы самоуправления объединяет и связывает *принцип адаптации* системы к внутренним и внешним условиям ее функционирования. Адаптация может осуществиться в форме простого приспособления самоуправляемой системы к осо-

бенностям внешней среды, в результате изменения некоторых параметров системы таким образом, чтобы они сопрягались с соответствующими параметрами внешней среды без нарушения целостности и качественной определенности системы. Такая форма адаптации присуща всем самоуправляемым системам. Она ограничена пределами возможностей изменения состояния системы и непригодна при большой амплитуде изменения внешних условий.

Высокоорганизованные самоуправляемые системы способны к более совершенной — активной форме адаптации, при которой простое приспособление к внешней среде дополняется преобразованием этой среды самоуправляемой системой в соответствии с задачами ее выживания и дальнейшего развития.

Ни один из перечисленных принципов функционирования самоуправляемых систем не может реализоваться в отрыве от других принципов или вопреки им. Система этих принципов выражает общие черты всех процессов самоуправления независимо от их вещественного и энергетического субстрата. В то же время она отличается некоторой абстрактностью, неотделимой от основных законов движения материи, и не может рассматриваться в полном отрыве от вещественного и энергетического субстрата процессов самоуправления.

О системе кибернетических принципов и понятий

Система основных принципов процессов самоуправления вообще, или принципов кибернетики, имеющая не всеобщее, а региональное значение в пределах биологических, некоторых социальных и технических наук, служит основанием для образования системы новых общенаучных, а точнее региональных понятий.

Многие из этих понятий имеют давнюю историю не связанных в систему частных понятий, предназначенных для описания некоторых сторон сознательной и только сознательной человеческой деятельности. К ним относятся понятия «управление», «информация», «программа», «модель», «потребность», «ценность», «цель», «целеполагание», «память», «опыт» и ряд других. Некоторые из перечисленных понятий до появления кибернетики не были, строго говоря, научными понятиями, хотя они, как и многие другие понятия, употреблялись в науке для обозначения соответствующих явлений.

Кибернетика как отрасль знания (и ее дисциплины) положила начало процессу превращения понятий «информация», «управление», «цель», «программа» и ряда других в научные понятия, способствовала их объективированию, освобождению от своеобразного плена антропоморфности, объединила в систему взаимосвязанных понятий.

Этот в своей основе прогрессивный процесс становления системы новых научных понятий путем некоторого обобщения старых частных понятий встречается с рядом трудностей субъективного происхождения, вызванных издержками одностороннего примене-

ния метода анализа, когда отдельное явление искусственно изолируется от системы явлений без учета их связи, а также силой традиции, устоявшихся привычек, некоторых догм, принятых на веру и приобретших силу абсолюта, а также противоположной им тенденции экспансии нового подхода за объективные границы его применимости, когда процесс разумного объективирования понятий подменяется бездумным чрезмерным их обобщением, приводящим к их обесцениванию. К этому следует добавить, что первые успехи объективирования и формализации такого понятия, как «информация», породили трудности из-за односторонности подхода к этому важному делу.

Остановимся сперва на последнем вопросе. В ретроспективном плане его рассмотрения все больше становится ясным, что первая попытка количественного анализа процессов информационной связи и формализации понятия информации были связаны с одним, и притом не самым главным с точки зрения процессов управления, ее аспектом, а именно: вопросом оптимальной передачи сигналов, несущих информацию по каналу связи с наименьшими их потерями и искажениями.

Созданная рядом авторов статистическая «теория информации» по существу с самого начала была статистической теорией сигнальной связи, для которой безразлично значение сигналов, передаваемых по каналу связи, но важны условия передачи максимального количества сигналов по данному каналу без их искажения. Но это означает, что для статистической «теории информации» безразлична собственно информация — значение сигнала, ради которого создаются искусственные и возникают естественные каналы информационной связи в самоуправляемых системах.

Несмотря на предупреждение одного из ведущих создателей статистической теории информации К. Шеннона о недопустимости превращения специфического для инженерной связи понятия информации в универсальное средство описания явлений за пределами процессов сигнальной связи угрожающе преобладала сигнальная трактовка информации [1963, с. 667]. Одно время третировались попытки анализа содержательной стороны информации, т. е. того, что составляет ее сущность и основное назначение в процессах управления.

В действительности понятие информации оказалось сложнее и богаче, чем это выглядело в статистической теории. Феномен информации имеет много особенностей, обусловленных его неразрывной связью с феноменом управления, которые составляют синтаксический, семантический, ценностный, каузальный, коммуникативный, теоретико-отражательный, метрический и некоторые другие его аспекты. Ни один аспект достаточно полно еще не исследован. Многие свойства информации до сего времени еще не удалось формализовать в теории. Достаточно сказать, что еще не поддается измерению и количественной оценке содержание и ценность информации, связь этих свойств информации с видом и уровнем уп-

равления, его целью, характером того или иного класса самоуправляемых систем.

Следует, однако, отметить, что некоторые успехи имеются в попытках качественного описания информации. В этом отношении много сделали советские философы, установившие генетическую связь феномена информации с феноменом отображения и раскрывшие производный характер информации по отношению к отображению, показавшие неразрывную связь информации с феноменом управления.

По-видимому, фундаментальное для кибернетики понятие информации еще не раскрыто достаточно полно, и предстоит большая и кропотливая работа по созданию общей теории информации, включающей в себя количественный анализ и качественное описание всех основных свойств и сторон феномена информации в неразрывной ее связи с процессами самоуправления. Можно предположить, что существующие математические теории информации войдут в общую теорию как ее частные случаи согласно принципу соответствия.

Другое фундаментальное понятие кибернетики — понятие управления также находится в стадии становления. Мы полагаем, что одна из основных методологических трудностей исследования этого понятия возникла из-за попыток некоторых авторов охарактеризовать управление в качестве простого воздействия одних систем на параметры других систем. Такой подход не давал ничего нового по сравнению с описанием физических взаимодействий и исходил из предпосылки о раздельном существовании «управляющего» и «управляемого», связанных случайным и единичным актом физического взаимодействия. При этом не принималась во внимание особая связь «управляющего» и «управляемого» как неотделимых друг от друга сторон единого целостного материального образования.

Управление неправомерно сводить к процессу преобразования в чем-то одной материальной системы другой системой. Такие преобразования обычны для всей природы и не составляют специфики управления. Неоспоримо, что любой акт управления является некоторым преобразованием управляемого под воздействием управляющего.

Однако не всякое преобразование чего-то представляет результат акта управления. Последний следует рассматривать не как внешнее отношение двух систем, а как внутреннее отношение управляющей и управляемой подсистем в рамках целостной активной системы. В этом смысле управляющее и управляемое обусловливают друг друга в общем процессе функционирования целостной системы, которую с достаточным основанием можно назвать самоуправляемой.

Для адекватного определения понятия управления (точнее сказать — самоуправления), видимо, следует учитывать специфические для феномена управления стороны, а также свойства и

связи самоуправляемой системы с внешним миром. При таком определении необходимо исходить из системы основных принципов самоуправления и системы общих понятий кибернетики.

Особое место в определении понятия управления занимают понятия «целеполагание», «цель» и «целеосуществление». Процесс управления всегда направлен на достижение заранее предопределенного результата. Если понятия «информация», «программа», «управление» и некоторые другие сравнительно быстро были признаны и вошли в научный аппарат кибернетики, то превращение понятия «цель» и производных от него понятий «целеполагание», «целеосуществление», «целевая причина» (описывающие объективное функциональное явление направленности действия на достижение определенного необходимого результата и присущее только процессам самоуправления) в научные понятия встречает затруднения из-за предубежденности, вызванной в свое время нелепостями идеалистической по существу телеологии.

В давние времена возникла телеологическая догма, согласно которой целеполагание считалось актом проявления сознательной и только сознательной воли человека или духа вообще (бога). В настоящее время трудно установить причины, вследствие которых эта догма была некритически заимствована критиками телеологии как исходное и основное положение самой критики.

Догма о целеполагании как прерогативе сознательной и только сознательной деятельности человека ни теоретически, ни практически ничем не обосновывается и по существу является продуктом конвенции. Между тем существует неограниченное множество неоспоримых фактов о направленности функционирования всех живых систем на достижение определенного результата, необходимого для их жизнедеятельности. Эти факты не укладываются в рамки старых представлений о цели и должны быть интерпретированы с позиций регионального научного понятия «цель», отображающего объективные функциональные явления, присущие всем самоуправляемым системам, независимо от того, осознанно или неосознанно они функционируют.

Процесс некоторого объектирования в современной науке понятий «целеполагание», «цель» и «целеосуществление» стал возможным благодаря исследованию свойства отражения у всей материи, опережающего отражения и активности отображения, исследованию феномена информации и информационной связи, информационной причинности и явления памяти, отображения отображений и ряда других явлений. Все это еще раз подтверждает пользу системного подхода при исследовании новых научных понятий, которые ввела в оборот кибернетика.

В заключение подчеркнем, что система научных принципов самоуправления и система научных понятий кибернетики являются региональными общими принципами и понятиями, помогающими описать и понять явления самоуправления там и только там, где они имеют место.

Литература

Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М., 1958.
Новик И. Б. Кибернетика. Философские и социологические проблемы. М., 1963.
Сент-Дьерди А Введение в субмолекулярную биологию. М., 1964.
Тюхтин В. С. О природе образа (психическое отражение в свете идей кибернетики). М., 1963.
Украинцев Б. С. Информация и отражение.— «Вопросы философии», 1963, № 2.
Украинцев Б С. Самоуправляемые системы и причинность. М., 1972.
Урсул А. Д. Природа информации. М., 1968.
Черри К. Человек и информация. М., 1972.
Шеннон К. Бандвагон.— В кн.: Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963.

ПОНЯТИЕ УПРАВЛЕНИЯ И ЕГО РОЛЬ В СОВРЕМЕННОМ НАУЧНОМ ПОЗНАНИИ

В. А. Бокарев

Кибернетика влияет на современное научное познание по крайней мере двумя путями. Во-первых, путем непосредственного применения ее методов, например, кибернетического моделирования. Во-вторых, она создает определенный «строй идей», когда образы, почерпнутые из кибернетики и, может быть, еще не отлитые в конкретные методы, переносятся на почву другой науки. Последнее связано с процессом взаимодействия понятийных фондов кибернетики и иных наук с обогащением последних за счет базовых понятий кибернетики. В настоящей главе рассмотрим роль кибернетического понятия «управление» в современном научном познании.

Это понятие сейчас уже вышло за рамки собственно кибернетической терминологии, превратилось в *общенаучное*. Не являясь философской категорией, оно приобрело значение «канала связи» наук, изучающих отдельные виды управления, со всей системой научных знаний. Это понятие нынче служит целям интеграции науки, упорядочения и «экономного перекодирования» накопленного материала.

Чтобы раскрыть роль этого понятия в современной науке, необходимо проследить его становление и тем самым выявить его специфику. Известно, что понятия «управление конем», «государственное управление» и т. п. существуют веками. Но до последних десятилетий роднящее их слово «управление» не привлекало специального внимания. Более того, его употребление в упомянутых словосочетаниях казалось случаем полисемии. Упор делался на прилагательные, определения и дополнения («государственное»,

«автоматическое», «производством», «машиной» и т. п.). Вопросы управления летательным аппаратом еще не отпочковались от других проблем динамики полета и аэродинамики. «Технология» управления производством в процессе решения экономической задачи еще не отделялась от собственно экономического содержания этой задачи. Каждая наука старательно обособляла «свой» объект исследования, и открытие новой его особенности почиталось куда более ценным, чем туманные рассуждения о сходстве структур нервной системы и системы управления войсками. Общее заслонялось единичным, а процесс дифференциации знания *явно превалировал над интеграцией.*

Дифференциация науки — процесс почти всегда стихийный. Напротив, ее интеграция требует активности и творчества, осознаваемых и основанных на определенном миропонимании. Кибернетика возникла из гипотезы об изоморфизме систем и процессов управления в машинах, живых организмах и обществе. Ее предметом стал не определенный вид материи или отдельная форма ее движения, а общие законы структурной организации и функционирования систем управления любой природы и любой сложности. В понятийный фонд кибернетики «управление» вошло без прилагательных, определений и дополнений — взятое в самом широком по объему и, разумеется, в самом абстрактном смысле.

И вот неожиданность: понятие «прозрачное» в частных его значениях *оказалось чрезвычайно сложным в своей предельной* общности. Гносеологические трудности определения его нового смысла обусловливались следующими обстоятельствами. Во-первых, почти повсеместным присутствием в природе элементарных процессов управления и, следовательно, трудностью проведения «нижней границы», отделяющей управление от движения и взаимодействия объектов, от проявлений инерционности, устойчивости тел и т. п. Но если не найти этой границы и словом «управление» метить все что угодно, то от его введения в научный обиход будет скорее литературная, нежели научная, польза.

Во-вторых, эти трудности обусловлены многообразием форм управления, различающихся видом материи, формой движения и сложностью — от простейшего гомеостазиса до социального управления. Выделить *из этого многообразия действительно едино*образное и присутствующее всюду — задача нелегкая. Именно возможность произвольно варьировать смысл этого понятия в зависимости от сфер его приложения, а на этой основе отождествлять сами эти сферы, в свое время способствовали возникновению «антикибернетической» реакции.

В-третьих, теоретико-познавательные трудности обусловливались тем, что управление в высших своих проявлениях связано с человеческой деятельностью, осознанным целеполаганием и, следовательно, понятие управления, взятое в «полном смысле слова», мыслилось как специфически «человеческое». А человек от природы наделен удивительно универсальным «управляющим устрой-

ством» — мозгом, легко решающим сложнейшие управленческие задачи и тем самым долгое время «прячущим» от исследователей саму проблему управления как таковую.

На какой же понятийной основе можно раскрыть смысл кибернетического понятия «управление»? Решить эту проблему «внутренними силами» кибернетики (тем более — силами наук, изучающих отдельные разновидности управления) невозможно, так как попытка раскрыть управление через одни только собственно кибернетические понятия неизбежно ведет к логическому кругу, когда понятие определяется через свои синонимы или другие понятия, ранее определенные (явно или неявно) через управление. Следовательно, это понятие можно раскрыть лишь посредством применения философских и общенаучных категорий (цель и средство, структура и функция и т. п.), поскольку последние принадлежат более широким понятийным системам.

Попытаемся проанализировать понятие управления, используя накопленный материал.

Управление и причинность

В обиходе термин «управление» употребляется в двух смыслах. Во-первых, для обозначения *системы* управления (например: «Главное управление торговли»). Во-вторых, для обозначения *процесса* управления («управление боевыми действиями»). Как видим, под управлением понимается целостное явление, имеющее свою «анатомию» — материальную основу, на базе которой протекает процесс, и «физиологию» — сам этот процесс в его динамике. Для выяснения сущности управления необходимо рассмотреть обе эти стороны, причем, на наш взгляд, целесообразно начать с системы.

Общее понятие «система» многозначно. Опираясь на труды Л. Берталанфи и других авторов, все системы можно в наших целях подразделить на *вещественные* системы (например, сердечно-сосудистая система), системы *процессов*, системы *идей* (идеология, наука) и *знаковые* системы (системы уравнений, лингвистические модели и т. д.). В плане этой классификации реальные системы управления относятся к первой группе, совокупность протекающих в них процессов — ко второй, теория управления (поскольку она — систематизированное знание) — к третьей, а абстрактные знаковые модели систем и процессов — к четвертой.

Не каждая система, конечно, является системой *управления*. Так, кристалл и солнечная система — это системы, но не системы управления. Способность системы быть системой управления зависит от ряда факторов, важнейшим из которых является ее *организованность*. Низшая ступень системной организации представлена аддитивными (часто их называют суммативными) системами. В таких системах связь элементов носит внешний, механи-

ческий характер. Здесь свойства системы, как правило, совпадают с суммой свойств элементов, взятых порознь, а сами элементы, входя в систему и выходя из нее, не изменяют своих собственных свойств. Такие системы в *принципе* не могут быть системами управления.

Следующая группа систем — это системы, обладающие интегративными свойствами, не сводимыми к сумме свойств своих элементов. Они могут стать системами управления при выполнении некоторых *особых* требований, не обязательных для всех систем этого типа. Наконец, существуют системы, которые можно назвать *органически-целостными*. Их отличительный признак — высокий уровень организации, способный обеспечить процессы развития, самоорганизации, самообновления элементов и самовоспроизведения. Очевидно, что такие системы всегда являются системами управления [Эшби У. Р., 1966].

Значит, чтобы отделить системы, способные быть системами управления, от любых других (и, тем самым, провести «нижнюю границу» сложности материальной организации, при которой возможно управление), необходимо более детально обсудить вопрос о свойствах «организованных» систем.

К числу *общих* свойств всех таких систем можно отнести: а) превалирование (количественное и качественное) внутренних связей над внешними; б) главенство системы как целого над элементами (включая бо́льшую «живучесть» системы); в) наличие интегративных свойств, порождающее качественное различие закономерностей системы в целом от их элементов.

Однако чтобы организованная система стала системой управления, необходимо, чтобы она удовлетворяла некоторым *особым* требованиям. Эти требования можно разделить на: 1) требования к элементам (подсистемам) и связям между ними и 2) требования к системе в целом.

К первой группе относятся: наличие причинно-следственных связей между элементами (и подсистемами); динамичность элементов и подсистем; наличие у элементов (подсистем) таких параметров, воздействием на которые можно изменять ход преобразований. Кратко поясним сказанное.

Чтобы осуществлялось управление, необходимо, чтобы между элементами и главное между управляющей и управляемой подсистемами существовали *причинно-следственные связи*. Подчеркивая важность этого положения, А. А. Марков в свое время определил кибернетику как «науку о причинных сетях» [1964, с. 49]. Это требование взаимодетерминированности элементов и подсистем предполагает следующие ограничения. Во-первых, надо отличать связи (типа: «A вызывает B») от отношений (например, типа: «$A > B$»). Во-вторых, надо различать причины и условия («A вызывает B при условии C»). В-третьих, надо различать причинные зависимости разного типа. Скажем, из того, что два элемента связаны механически, вовсе не следует их электрическая

связь. Необходимо наличие причинно-следственной связи в данном, обусловленном природой системы, отношении.

Однако наличие причинно-следственных связей — необходимый, но не достаточный признак системы управления. Управление в такой системе осуществимо, его наличие здесь не противоречит законам природы, но одно это еще не делает систему системой управления. Расположение пластов в геосфере причинно взаимосвязано, но эта система пока что не является системой управления. Если детерминированность элементов признать достаточным признаком управления, то в последнем понятии в сущности не окажется иного содержания, кроме того, которое вкладывается в понятие «причинность».

Чтобы система обладала свойством управления, необходимо еще, чтобы ее элементы (подсистемы) были *динамичными*, могли переходить из одного положения (состояния) в другое. Если система имеет единственное состояние, то управление ею неосуществимо.

На первый взгляд это требование не очень жесткое. Однако чтобы элементы и подсистемы имели не единственное состояние в пределах данного качества, они должны быть способны претерпевать изменения, оставаясь элементами *данной* системы. Управление невозможно, если после первого же взаимодействия между элементами система распадается, превращаясь в нечто иное. (Позже увидим, что в отличие от одноразового, однонаправленного воздействия объекта на объект управление обладает относительной продолжительностью, цикличностью.)

Высказанное положение требует разъяснений. Во-первых, в природе нет объектов, которые оставались бы вечно неизменными во всех отношениях. В механически неподвижном объекте протекают тепловые, химические и иные процессы. Слова «в данной системе» налагают ограничение: из всего многообразия процессов вычленяются лишь те, которые в данном случае рассматриваются. Во-вторых, нами рассматривалась система, лишенная развития, например, такая, как простейший технический автомат. Системы в живых организмах и обществе в процессе своего развития, конечно, переходят из одного качественного состояния в другое, и притом остаются системами. Для систем такого рода вопрос стоит по-иному. Они должны допускать *разнопорядковые* качественные изменения: внутри некоторого «более широкого» качества в ней должны допускаться изменения, также относящиеся к разряду качественных. Иначе говоря, для обеспечения развития системы ей необходим определенный консерватизм.

Но и динамичность элементов (подсистем) еще не является достаточной для осуществимости управления. Действительно, при радиоактивном распаде происходит самое радикальное изменение: один химический элемент преобразуется в другой. Тем не менее этот процесс не управляемый. Как бы ни варьировались физические и химические условия, период полураспада остается неиз-

менным. Для управления необходимо наличие *параметра,* воздействие на который изменяет ход преобразований. Это положение столь важно, что А. И. Берг определяет управление как «перевод системы в новое состояние путем воздействия на ее параметры» [1961, с. 29]. Простого «перехода» системы из одного состояния в другое для наличия управления недостаточно. Чтобы системой можно было управлять, мало того, чтобы она двигалась, меняла свои состояния. Управление требует, чтобы имелась возможность изменить скорость и направление движения. (В конечном счете всякое управление есть управление движением.) Напротив, ход реакции в термоядерной бомбе, полет баллистической ракеты на пассивном участке траектории, искусственный спутник Земли, не имеющий двигателя, потому и называются неуправляемыми объектами (процессами), что здесь нет параметра, изменяющего ход преобразований. Такое же требование предъявляется и к управляющей подсистеме: чтобы реагировать на изменения объекта управления и среды, она должна обладать органами и параметрами, изменяющими ее функционирование. Иначе ее последующие воздействия на объект будут лишены целесообразности. (Заметим кстати, что дискретность состояний элементов и подсистем не является принципиальным условием управляемости. В принципе значения параметра и изменения состояний системы могут обратиться в непрерывную функцию. Также не является обязательным и то, чтобы преобразования происходили с вероятностью, равной единице. Важно лишь, чтобы переходы из состояния в состояние не оказались все до единого равновероятными.)

Далее. Распространение понятия «управление» на любые воздействия, особенно на явления неорганической природы, в частности, на явления галактических масштабов, не является обоснованным [см.: Петрушенко Л. А., 1971]. В этом случае кибернетика (хотят этого авторы этой точки зрения или нет) охватит все науки, а понятие управления полностью лишится своей специфики.

Специфика управления существенно связана с использованием сигнально-информационных процессов. И хотя никакое управление не может осуществляться без передачи информации [см.: Жуков Н. И., 1971; Тюхтин В. С., 1972; Урсул А. Д., 1971], в элементарных системах этот факт не всегда лежит на поверхности. Нередко одно и то же управляющее воздействие выступает как недифференцированная совокупная причина (например, в регуляторе Уатта). Но в более «сложных» — электронных, биологических и социальных — системах структура причинно-следственных связей многообразно дифференцирована, вследствие чего более явственно выступают присущие и элементарным системам, но скрытые в них сигнальные свойства.

Речь идет о том, что в сложных системах происходит расчленение причинных сетей: от энергетической обособляется сигнальная, которая превращается в специфическую причинную сеть управления. Так, по мере усложнения организмов функции кле-

ток специализируются, выделяются нервные клетки, управляющие жизнедеятельностью организма. Сходным образом в процессе развития военного дела функции командира обособились от функций воина, выделилась система управления войсками, назначение которой не в непосредственном воздействии на противника, а именно в управлении силами и средствами. С этого момента понятие «управляющая система» переносится только на сигнальную сеть, выполняющую также и функции каналов связи.

В связи с такой дифференциацией специфически-управленческие элементы приобретают ряд характерных особенностей, которые хотя и присущи простейшим системам, но не выражены в них. Речь идет, *во-первых*, о том, что элементы сигнальной системы управления и, конечно, каналов связи должны неискаженно (точнее — с допустимыми искажениями) передавать информацию. Последнее определяется степенью изоморфности сигнала на выходе входному сигналу и зависит от уровня шумов в элементе, его амплитудно-частотной и других характеристик. В биологических и социальных системах эти показатели имеют многомерный характер, причем некоторые из них определяются не только самим элементом, но также природой и состоянием системы в целом. Так, способность человека неискаженно передавать информацию в социальной системе зависит, в частности, от того, какова эта система, как она отображается в сознании данного человека и каково его отношение к ней. Во-вторых, в такой системе должны наличествовать элементы (подсистемы), способные перерабатывать и хранить информацию. Это необходимо потому, что в общем случае система имеет следующие характеристики: пространственную протяженность; управляющее воздействие и преобразование системы разнесены во времени; взаимодействующие элементы имеют различную природу. При этом имеются в виду, по крайней мере, два типа преобразований: а) преобразование вследствие взаимодействия двух сигналов — командной информации и информации состояния; б) преобразование сигнала в энергетическое воздействие на управляемый объект, а также сигнальное отображение пространственно-временны́х и энергетических изменений объекта. В электромеханических системах — это сервоприводы и телеметрические датчики.

Таковы основные специфические требования к элементам, связям между ними и подсистемам системы управления. Подводя итог сказанному, следует подчеркнуть, что наиболее характерным и специфичным для элементов, связей и подсистем такой системы являются именно *информационные свойства*.

Система управления

Рассмотрим теперь некоторые интегральные требования, предъявляемые к системе в целом. Эти требования, суммирующие все остальные отличительные свойства, дают в совокупности новое

качество — быть системой управления. Смысл их состоит в том, что система управления должна иметь соответствующим образом соединенные подсистемы, обладающие специфическим строением и функциями: управляющую и управляемую подсистемы, а также подсистемы, обеспечивающие прямую и обратную связь, причем все подсистемы должны быть соединены между собой так, чтобы выход одной присоединялся именно ко входу другой.

Это, казалось бы, простое положение имеет интересную историю. Вначале оно не осознавалось потому, что в разнородных системах общее заслонялось единичным, и инвариантность их структур еще не была выявлена. Потом кибернетика на какой-то период сделала это положение аксиомой. Но через некоторое время появились небезосновательные сомнения в его всеобщности. Дело в том, что в системах авторегулирования (автоматическое регулирование, физиологическая регуляция клетки растений, простейших организмов животных) выделенная и дифференцированная управляющая система отсутствует: вся система выступает в качестве управляющей по отношению к каждому из своих элементов (сказанное не относится к управлению генетическими функциями). Кроме того, эти сомнения поддерживались тем, что система, как правило, входит в суперсистему, имеет координационные и субординационные связи, контуры самонастройки, причем сам орган управления в сложных системах дифференцируется на подсистемы и т. п. В конечном счете, когда мы подходим к уровням надорганизменных систем управления — популяция, экосистема, биосфера, ноосфера — оказывается, что произошел «как бы возврат»: во многих случаях ярко выраженный централизованный управляющий орган снова отсутствует и система претерпевает преобразования вследствие совокупного влияния «распределенных» управляющих воздействий. Так обстоит дело и в некоторых социальных системах при исследовании проблем функционирования, например, однородного коллектива и формирования в нем личности.

Таким образом, изображенная в учебниках схема контура управления вовсе не общая, она ограничена некоторыми минимальными и максимальными уровнями сложности, причем «классические» проявления этого контура в реальных системах не так уж часты. Однако, возможно, что более детальное исследование простейших и сложнейших систем, обогатив наши знания, вновь подтвердит инвариантность данной схемы.

Рассмотрим подробнее проблему *обратной связи*. В философском смысле обратная связь — не что иное, как конкретизация одного из высших типов причинной связи — взаимодействия, когда каждый процесс выступает и как причина, и как следствие. Гегель указывал, что в целесообразной деятельности «конец есть начало, следствие — основание»; что она есть «становление уже ставшего». Таким образом, всякое целесообразное поведение предполагает наличие той или иной реализации обратной связи.

Понятие «обратная связь» введено в науку Е. Румером в 1906 г. Однако до середины века мало кому представлялось, что это — фундаментальное научное понятие. В руководствах по теории автоматического управления (регулирования) встречаются указания, что в технике существуют два типа систем: без обратной связи и с обратной связью. Специалисты по автоматике правы, когда условно проводят такую классификацию *технических элементов* (*подсистем*) *систем управления*. Но если учесть, что современные технические системы есть системы типа «человек — машина», то нетрудно обнаружить обратную связь, которая в случае «разомкнутых технических систем» осуществляется через человека. Например, органы управления самолетом сами по себе, без летчика, не представляют системы управления. Поэтому следует сказать, что обратная связь характерна для *любых* систем управления.

В некоторых руководствах по управлению экономикой и войсками имеется тенденция относить к системам управления лишь управляющие органы и каналы доведения приказаний до исполнителей. Но без обратной связи управление лишается наиболее существенной черты — целесообразности, которая не компенсируется ни твердостью, ни оперативностью, ни каким-либо иным качеством управления.

Известно также мнение, что необходимость обратной связи зависит от степени вероятности выполнения команд, от надежности системы. Так, если существует полная гарантия исполнения, то зачем проверять? Это, конечно, верно. Но откуда у нас вдруг возникла уверенность, что вероятность исполнения действительно равна 100, а, скажем, не десяти процентам? Очевидно, она была результатом проверки работоспособности и надежности систем, то есть следствием наличия все той же обратной связи [Глушков В. М., 1964].

По всей видимости, следует согласиться с Б. С. Украинцевым, что управление возможно только при определенной степени организации материи [1963]. И скорее всего пределом минимально необходимой сложности системы является, на наш взгляд, именно наличие хотя бы одной обратной связи. Таким образом, наличие обратной связи выступает как необходимый структурный признак системы управления.

Наконец, важным специфическим признаком, отличающим обратную связь от обратных действий в процессах взаимодействия тел неорганической природы, является ее сигнально-информационный характер [см. подр.: Тюхтин В. С., 1972, с. 89—92]. В противном случае обратная связь становится термином физики, а не кибернетики.

Разумеется, конкретная реализация обратных связей многообразна. В системах высокой надежности постоянно действующая обратная связь может уступить место такой, которая подключается лишь периодически (например, при настройке и градуиров-

ке). Обратная связь единичного объекта может быть перенесена на серию (соответственно: с отдельной особи на биологическую популяцию). Например, в гранате или снаряде после воздействия управляющего устройства (взрывателя) на объект (взрывчатое вещество) управляющее устройство разрушается, обратная связь как бы не действует, а процесс управления вроде бы низводится до одноразового, однонаправленного воздействия — теряет циклический характер. На самом деле обратная связь существует, но она перенесена с каждого отдельного объекта на серию: испытания опытных образцов обеспечивают целесообразность структуры и функций управляющих устройств разового действия.

Таким образом, понятие обратной связи выражает одну из существеннейших структурных (организационных) характеристик управления, и многие перспективные исследования в науке, производстве и военном деле так или иначе связаны с осмыслением ее роли. Так, при исследовании проблем научного управления обществом необходимо, в частности, вскрыть и устранить условия, при которых тот или иной работник самой структурой и характером подчинения иногда вынужден искажать в своих сообщениях действительное состояние дел. Инженерную психологию должен заинтересовать вопрос о так называемой знакопеременной обратной связи, поскольку человек в различных эмоционально-психологических состояниях и экстремальных ситуациях может выступать как звено с переменными характеристиками. Наконец, развитие техники в ходе научно-технической революции выявляет черты процесса с положительной обратной связью: применение новшества в одной области вынуждает преодолевать любые трудности ради ускоренного внедрения новой техники в другой области, а та, в свою очередь, стимулирует дальнейшее развитие первой.

Такова в общих чертах «анатомия» управления, как она выглядит с точки зрения структуры систем управления и свойств их элементов (подсистем). Теперь на этой основе можно попытаться охарактеризовать «физиологию» управления — *содержание* и *сущность* процессов, протекающих в этих системах.

Связь структуры и функций системы управления носит сложный диалектический характер. Готовая структура предопределяет набор возможных функций системы. Так, функции автопилота предопределены его конструкцией. Но структура всегда возникает (создается) под влиянием потребности в определенной функции. Правда, в отношении технических систем создается видимость обратной зависимости: сначала возникает «анатомия» машины, а уже потом она начинает функционировать. Однако машину нельзя понять в отрыве ее от конструктора. А в его голове сначала существует функция — в форме цели и задачи, которая должна решаться, и затем конституируется будущая структура. Таким образом, переход от анализа структуры и элементов к рассмотрению функций систем в теоретико-познавательном плане означает переход к более глубокой сущности управления.

Какими же чертами следует в первую очередь характеризовать процесс управления? Как уже говорилось, передача, переработка и хранение информации — это слагаемые процесса управления, проявляющиеся на уровне элементов системы. Они еще должны *сложиться* во что-то целое и специфическое, чтобы в совокупности дать феномен управления. Видимо, их интегрирует в качественно новое явление направленность на достижение определенной цели. Именно целеполагание, целесообразность отличает управление от любых других воздействий и взаимодействий объектов. И оно же превращает сумму разрозненных информационных процессов в целостное, качественно своеобразное явление. Структура системы, удовлетворяющая требованиям, изложенным на предыдущих страницах, является необходимым условием управления. Ведущим, главным условием управления является именно *целенаправленность*, ибо без нее любые преобразования в системе остаются лишенными качества управления. Поэтому в определениях управления в работах В. А. Трапезникова [1963, с. 178] и В. В. Солодовникова [1961, с. 5] цель выступает важнейшей его характеристикой.

Признание целеполагания, целесообразности процесса управления важнейшей характеристикой его содержания хорошо согласуется с тем, что в качестве важнейшей характеристики системы управления была взята обратная связь. Наличие цели и обратной связи, таким образом, выступают как существенное в управлении, взятое в одном случае со стороны содержания (функции), а в другом — со стороны формы (структуры).

Следует отметить, что главенствующая роль целеполагания порой маскируется природой самой кибернетики. Дело в том, что кибернетика — наука в основном формальная. От кибернетики чаще требуют ответа на вопрос об оптимальных путях и средствах достижения извне поставленных целей: в большинстве случаев цели априорно заданы, и кибернетика чаще занимается вопросом «Как управлять?», нежели вопросом «Зачем управлять?». Поэтому в ней самой формально-структурная, информационная или алгоритмическая сторона управления довлеет над вопросами целеполагания.

Тем не менее выявление полного смысла понятия управления не может быть ограничено формально-структурной стороной. Во-первых, потому что цель и средство диалектически взаимосвязаны. Характер цели определяет выбор средств, а неверно выбранные средства деформируют цель. Познание одного предполагает, требует познания другого. Во-вторых, в реальной деятельности возникает иерархия целей и средств, причем то, что на одном уровне выступает как цель, на другом является средством. При этом «априорно» заданными для кибернетики являются лишь конечные цели (самосохранение системы). Промежуточные же «задачи-цели» ставятся и анализируются самой кибернетикой. В-третьих, науки, на которые «работает» кибернетика, при анализе и по-

становке конечных целей могут и должны пользоваться средствами и методами кибернетики, а формализации в таких случаях недостаточно.

Проблема цели, целеполагания и целенаправленности глубоко исследована классиками марксизма-ленинизма и широко представлена в работах советских философов — Г. А. Федорова, И. Т. Фролова, Н. Н. Трубникова и других. Обычно цель определяется как идеальное предвосхищение того результата, на достижение которого направлено действие. Следовательно, постановка цели — прерогатива сознательных существ, создающих в своей голове идеальные образы. Короче, постановка цели — чисто человеческая (в горизонтах наших знаний об инопланетных цивилизациях и технических возможностях моделирования интеллекта) способность.

В сущности именно благодаря такой неразрывности сознания и целеполагания понятие управления приобрело антропоморфный характер: только «человеческое» управление воспринимается как управление «в полном смысле слова».

Но ведь целесообразность наблюдается также и в анатомическом строении, функционировании организмов и поведении животных. И это превратило проблему цели и целесообразности в постоянный предмет дискуссий со времен Аристотеля, стало основой для появления телеологии. В последние же годы на старые трудности наслоились проблемы, связанные с целесообразностью «поведения» кибернетических машин.

Когда естественники-материалисты применяют термин «целесообразность» к живой природе, его содержание принципиально отличается от того значения, которое он имеет применительно к человеческому поведению. Для естественников он означает не более как сложную форму причинной зависимости, когда результат предыдущего действия оказывает влияние на дальнейший ход процесса. Целесообразность живого является исторически первой, *неполной* формой целесообразности, из которой впоследствии вырастает человеческая целесообразность.

В инструментах, механизмах и машинах также наблюдается целесообразность. Но это уже иной вид целесообразности: *внешняя* целесообразность, то есть соответствие не с какой-то собственной целью этой машины, а с целью, поставленной ее творцом-человеком.

Кибернетические машины дали пример более сложного, по сравнению с обычными машинами, проявления целесообразности, когда внешняя целесообразность, заложенная человеком, выражается через сложную систему обратных связей, памяти и перестройки программ. (Поэтому-то в кибернетических машинах на качественно иной основе проявляются некоторые закономерности, известные ранее лишь для живой природы.)

Нетрудно видеть, что перед нами четыре сходных, но различных явления, имеющих одно и то же название. Анализ их гене-

зиса и диалектики — задача особого исследования. Однако ясно: сформулированное выше положение, что сущность управления характеризуется его целенаправленностью, будет справедливым для систем любой природы; при этом в понятие целесообразности должны быть включены все оттенки, которые оно приобретает при применении к обычным и кибернетическим машинам, живым организмам и поведению человека. Этого требует логика процесса обобщения понятия «управление».

В сущности речь идет о новом, измененном объеме и содержании философской категории «цель» и производных от нее понятий. Это изменение не произвольное, оно объективно предопределено развитием понятийного фонда науки. Иначе термин «управление», примененный к машине, живому организму и человеку, будет принимать каждый раз принципиально новый смысл; и тогда общая теория управления окажется невозможной.

Цели управления

В связи с тем, что главным содержанием управления является именно его целевое содержание, рассмотрим вопрос: в чем состоят цели управления. У. Р. Эшби и Ст. Бир полагают, что основной целью является *гомеостазис*. С одной стороны, гомеостатические процессы наблюдаются во всех системах управления. С другой стороны, в объектах, не относящихся к классу систем управления, таких процессов не наблюдается.

Следовательно, гомеостазис — это качественная грань, выделяющая процесс управления среди всех других процессов материального мира.

Однако гомеостазис не охватывает собой всего существа управления. Это, так сказать, сущность первого порядка. Гомеостатическая система в структурном отношении характеризуется только отрицательными обратными связями, а в функциональном — постоянством цели, именно — цели самосохранения (посредством активного приспособления к среде). При усложнении среды такая система способна к развитию, но не к саморазвитию.

Гомеостазис в социальных системах проявляется иначе: человек не только сам лично приспосабливается к условиям существования, но, даже не ограничиваясь приспособлением техники к этим условиям, адаптирует саму среду к своим нуждам и целям. Еще важнее то, что выживание, самосохранение, приспособление в обществе перестают быть самоцелью, как в живой природе, хотя здесь самосохранение может реализоваться не только по отношению к особям, но и к видам.

Таким образом, гомеостазис, являясь существенной чертой управления, не охватывает всей его сути. Поэтому, например, в работах В. Г. Афанасьева [1968, с. 25], И. Б. Новика [1963, с. 25] управлению дается более широкая характеристика. Оно, согласно И. Б. Новику, предстает как упорядочение системы, приведение

ее в соответствие с определенной объективной закономерностью, действующей в данной среде. Такой подход охватывает и гомеостазис, и саморазвитие. Но здесь требуется уточнить класс закономерностей, ибо приведение солнечной системы в соответствие с законом тяготения не есть управление, а приведение всех систем в соответствие со вторым началом термодинамики не есть их упорядочение. К тому же, как мы видели, управление вовсе не всегда приводит систему в соответствие со средой, а в общественной жизни и в технике оно направлено именно на приспособление среды к нуждам системы.

В литературе также часто указывается, что целью управления является сохранение или повышение *организованности* системы, перевод ее из более вероятного в менее вероятное состояние, понижение ее *энтропии* [см.: Антомонов Ю., Харламов В., 1968]. Это положение без определенных уточнений ведет к противоречиям. Как, например, расценить весьма нередкие случаи, когда целью управления является разрушение структуры объекта, понижение уровня его сложности и организации? Видимо, чтобы устранить парадоксальность, необходимо уточнить критерии организованности, решить, всегда ли усложнение есть прогресс и т. п. Например, реактивный двигатель «проще» или «сложнее» поршневого? Всегда ли повышению организованности формально соответствует понижение энтропии (бетон тем «организованнее», чем однороднее его масса). Можно, конечно, так определить границу между объектом управления и средой, чтобы вся система по *определению* была антиэнтропийной. В ряде случаев такой подход «работает». Но как быть с расщеплением топлива в машине, ядер в реакторе, филогенезом гельминтов и т. п.? Наконец, является ли частью системы управления арьергард отступающих войск, особым решением оставленный на верную гибель?

Видимо, обсуждаемое положение станет менее спорным, если считать, что управление сохраняет или повышает организованность (снижает энтропию) не всей системы, а лишь *управляющей* подсистемы, а также тех элементов и подсистем, от организованности которых зависит достижение целей управления.

Высказывается также мнение, что общая цель управления состоит в *оптимизации* управляемых процессов. В определенной мере и это верно. Управление геометрией крыла самолета преследует цель *оптимизировать его применительно к различным скоростям* и высотам. Однако, во-первых, понятие «оптимальный», если оно берется в строгом математическом смысле, достаточно узко, если же ему приписывается расширительное значение — хороший, удачный,— становится неопределенным [см.: Герчук Я. П., 1969]. Во-вторых, нельзя считать, что управляющей является только та система, которая осуществляет «оптимальное» управление. При нынешней технологии управления особенно сложными системами, еще не полностью гарантировано даже принятие безвредных решений. Оптимальность — это идеал, но не «обыденный» признак

любого управления вообще. Аналогично обстоит дело с требованием включить в определение социального управления указание на его научный характер. Научность — это характеристика нашего подхода к управлению, умения управлять, а вовсе не выражение объективной сущности управления, которое, кстати, существовало до науки об управлении и даже до всякой науки вообще.

Высказанные выше соображения носят общий характер и относятся к некоей абстрактной системе. В *реальных* системах содержание управления богаче и разнообразнее. Его обогащение идет путем конкретизации целей и включения в содержание управления совокупности действий, направленных на достижение цели. Так, говоря об управлении экономикой или войсками, указывают не абстрактные цели гомеостазиса или антиэнтропийности, а получение прибыли или достижение победы над врагом. По отношению к этим целям гомеостазис и прочее выступают как отдельные грани или «срезы» цели, причем конкретная цель достигается совершенно определенными средствами. Последнее заставляет включить в содержание управления, кроме целеполагания, еще и *требование целесообразного выбора средств достижения целей.* На этом этапе выступают на первый план требования устойчивости, компактности, экономичности и т. п.

Так выглядит управление, рассматриваемое в разрезе по линии содержание — форма или по линии функция — структура. Оно предстанет несколько иначе, если на него взглянуть в плане категорий «сущность» и «явление». В последнем случае выясняется вопрос, как, в каком виде являются, предстают перед исследователем существенные черты управления.

Проявления управления тем сложнее, чем сложнее система и ее функции. Совершенно особые трудности возникают при анализе человеко-машинных комплексов и социальных систем. Чтобы проиллюстрировать характер этих сложностей, рассмотрим вопросы о соотношении управления с сознанием и общественной жизнью.

Управление, сознание, общество

Докибернетическое понимание соотношения управления и сознания сводилось к тому, что разум — единственный источник и первопричина управления. Пути появления самого мышления рассматривались вне связи с понятием управления. Но если отвергнуть витализм и гилозоизм, то окажется, что процесс становления и развития сознания был *бессознательно* осуществляемым *природой усложнением структуры, повышением организованности,* созданием целесообразных форм и целенаправленных преобразований. А это, как мы видели, часть именно тех терминов, в которых описывается управление. И естественно полагать, что не сознательно-идеальное является первопричиной управления, а, наоборот, способность живой материи к управлению с помощью сиг-

нально-информационных процессов явилась одной из причин появления сознания.

Как видим, кибернетика изменила соотношение понятий «сознание» и «управление», расширила объем последнего.

Вместе с тем участие человека в управлении придает последнему особые черты. И дело не только в осознанном целеполагании и идеальном моделировании. Специфика «человеческого» управления ставит проблемы, связанные с понятиями интереса, ценностей, установки, волеизъявления и т. п. Без этого многие «тайны» социального управления не могут быть раскрыты.

Представляет также интерес связь и различие понятий целеполагания и предвидения. Последнее иной раз понимается только как способность человека идеально предвосхищать результаты своей деятельности. В такой формулировке оно неотличимо от целеполагания. Скорее всего предвидение следует понимать как способность предвосхищать результаты любых процессов в природе и обществе по их причинам, условиям и тенденциям, а не ограничиваться только сферой деятельности данного субъекта. В то же время определение цели следовало бы сузить, указав, что это не только «идеальное предвосхищение результата деятельности», но еще и нечто такое, в достижении чего человек заинтересован, к чему он направляет свою деятельность. Эта дифференциация понятий, в частности, выявляет тот факт, что возможности моделирования целеполагания и моделирования прогнозирования на ЭВМ различны.

Необходимость выяснения специфической сущности «человеческого» управления и его проявлений обостряется потребностью и трудностями решения так называемой психофизиологической проблемы.

Немалые трудности связаны также с выяснением сущности управления в коллективах, в обществе, особенно — в антагонистическом. И именно здесь, на наш взгляд, ярче всего проявилась важная гносеологическая роль обобщенного понятия «управление» в современной науке. Дело в том, что в антагонистическом обществе истинная природа управления заслоняется различными факторами классово-политического, идеологического и морально-этического порядка. Такая видимость создается прежде всего по следующим причинам.

Большинство систем управления в современном обществе так или иначе связано с государством. Но государство не вечно, а социальное и хозяйственное управление существовало и будет существовать всегда. Наш современник «застал» социальное управление в неразрывной связи с государством, и их мысленная дифференциация представляет для него естественную гносеологическую трудность.

Природа государства противоречива. Так, государство в антагонистическом обществе, с одной стороны, является орудием классового подавления, с другой стороны, исторически оно появляется

как аппарат, замещающий родоплеменное управление и наследующий его функции. Государство присваивает функции свергнутого самоуправления как бы для того, чтобы стать незаменимым и, создавая видимость надклассовости, управлять обществом в интересах господствующей верхушки. Таким образом, наряду с *собственными* функциями, вытекающими из сути государства как орудия классового господства, оно в той или иной мере выполняет и некоторые *несобственные* функции, присущие любой системе социально-экономического управления. Социалистическое государство потому и является, как указывал В. И. Ленин (Полн. собр. соч., т. 33, с. 18), «полугосударством», что его несобственные функции начинают преобладать. С точки же зрения анализа существующей в любом обществе системы социально-экономического управления этот процесс означает начало очищения этой системы от чуждых ее сущности наростов, привнесенных в нее классовыми антагонизмами и необходимостью применять насилие как важнейшее средство управления.

Теоретически насилие всегда выступает лишь *средством* достижения целей. Однако идеологи буржуазии не проводят различия между насилием самим по себе и его целями. В «теории насилия» побудительным мотивом деятельности признается «воля к власти» как таковая, без указания на цели, ради которых она используется. Насилие выступает как *самоцель* управления, что, в свою очередь, влияет не только на выбор практических средств, но и на формирование теоретических взглядов по вопросам социального управления. Не случайно Ст. Бир пишет, что «управление большинству людей ... представляется как грубое принуждение» [Бир Ст., 1963, с. 33].

В этих условиях «технология» управления — проблемы его целесообразности, экономичности и эффективности — отступают на второй план и привлекают внимание лишь тогда, когда решены классово-политические проблемы. В качестве людей, способных управлять, в таком обществе выступают не специалисты в области теории и практики управления (хотя их знания нередко используют), а те, кто способен *принудить* политических противников к повиновению. Только при социализме, а в окончательном виде — при коммунизме управление обществом выступает в чистом виде. Чтобы уяснить смысл изменений, важно помнить ленинское указание, что ни дисциплина совместного труда, ни организация сами по себе не означают насилия.

Вскрытие истинной сущности управления (и здесь немалая роль принадлежит теоретическому исследованию объема и содержания понятия «управление») дает возможность правильно сформулировать требования к руководителю: способность понять и ясно сформулировать цели управления, правильно определить критерии эффективности, без субъективизма оценить реальное состояние управляемого объекта, здраво взвесить степень риска и вероятность успеха при каждом из возможных вариантов действий,

выбрать наилучшие средства и методы достижения целей (среди них в частном случае могут оказаться и методы принуждения) и на этой основе принять наиболее целесообразное решение, на выполнение которого действительно должны быть мобилизованы вся энергия, воля, все помыслы руководителей и коллектива.

Как видим, обобщенное кибернетическое понятие управления и здесь сыграло важную познавательную роль: оно помогло «снять» видимость отсутствия в социальном управлении общих законов, проникнуть за эту видимость, избежать противопоставления общего особенному по принципу «либо — либо» и исследовать их как единство противоположностей.

Такова, на наш взгляд, специфика современного понятия «управление» и его роль в научном познании. Сказанное здесь, конечно, не может претендовать на полноту и абсолютную истинность. Бесспорно лишь, что понятие «управление» играет в концептуальном фонде современной науки весьма существенную роль и эта роль в будущем еще более возрастет.

Литература

Антомонов Ю., Харламов В. Кибернетика и жизнь. Киев, 1968.

Афанасьев В. Г. Научное управление обществом. М., 1968.

Берг А. И. Кибернетику — на службу коммунизму.— В сб.: Кибернетику на службу коммунизму, № 1. М., 1961.

Бир Ст. Кибернетика и управление производством. М., 1963.

Герчук Я. П. Современные методы управления сложными системами.— «Вопросы философии», 1969, № 9.

Глушков В. М. О кибернетике как науке.— В кн.: Кибернетика, мышление, жизнь. М., 1964.

Жуков Н. И. Информация. Минск, 1971.

Марков А. А. Что такое кибернетика? — В кн.: Кибернетика, мышление, жизнь. М., 1964.

Новик И. Б. Кибернетика. Философские и социологические проблемы. М., 1963.

Петрушенко Л. А. Самодвижение материи в свете кибернетики. М., 1971.

Солодовников В. В. Проблема управления как важнейшая проблема кибернетики и автоматики.— В кн.: Автоматическое управление. М., 1961.

Трапезников В. А. Кибернетика и автоматическое управление.— В кн.: Возможное и невозможное в кибернетике. М., 1963.

Тюхтин В. С. Отражение, системы, кибернетика. М., 1972.

Украинцев Б. С. Информация и отражение.— «Вопросы философии», 1963, № 2.

Урсул А. Д. Информация. М., 1971.

Эшби У. Р. Принципы самоорганизации.— В кн.: Принципы самоорганизации. М., 1966.

РОЛЬ ПОНЯТИЯ ЦЕЛИ В ТЕОРИИ УПРАВЛЕНИЯ ДВИЖЕНИЕМ ТЕЛ

Г. В. Коренев

Цель управления в механике

Сознательная деятельность человека целенаправленна, т. е. при помощи своей деятельности человек стремится достигнуть определенной цели, которую он заранее перед собой поставил. При этом он должен изменять свои действия в зависимости от обстановки. «Для того чтобы присвоить вещество природы в форме, пригодной для его собственной жизни, он приводит в движение принадлежащие его телу естественные силы: руки и ноги, голову и пальцы. Воздействуя посредством этого движения на внешнюю природу и изменяя ее, он в то же время изменяет свою собственную природу... В конце процесса труда получается результат, который уже в начале этого процесса имелся в представлении человека, т. е. идеально. Человек не только изменяет форму того, что дано природой; в том, что дано природой, он осуществляет вместе с тем и свою сознательную цель, которая как закон определяет способ и характер его действий и которой он должен подчинять свою волю» (Маркс К. и Энгельс Ф. Сочинения, т. 23, с. 188—189).

Таким образом, в процессе труда человек изменяет и свою собственную природу: цель, сознательно поставленная человеком перед собой, обусловливает это изменение. Отсюда следует, что если какой-нибудь род целенаправленной деятельности человека должен стать объектом научного исследования, например управление движением тел, то в этом исследовании необходимо учитывать и характер цели. Здесь нельзя усмотреть ничего общего с телеологией и с религиозными идеями. Роль понятия цели в исследовании целенаправленных действий человека, например в управлении движением, необходимо считать объектом научного исследования. Эта необходимость должна влиять на мышление человека и изменять его.

«Как естествознание, так и философия до сих пор совершенно пренебрегали исследованием влияния деятельности человека на его мышление. Они знают, с одной стороны, только природу, а с другой — только мысль. Но существеннейшей и ближайшей основой человеческого мышления является как раз изменение природы человеком, а не одна природа как таковая, и разум человека развивался соответственно тому, как человек научался изменять природу» (Маркс К. и Энгельс Ф. Сочинения, т. 20, с. 545).

Это утверждение Энгельса остается основополагающим и в наши дни. Чтобы выяснить его современное значение в одной из наук, имеющей непосредственное отношение к движению тел — в механике, посмотрим, нашло ли понятие цели какое-либо при-

менение хотя бы в постановке задачи механики как науки. Ниже приводятся в хронологическом порядке формулировки задачи механики как науки, которые на протяжении почти 300 лет выдвигались как классиками, так и современными крупными учеными. При этом нетрудно будет заметить, что задача механики как науки с течением времени постепенно сужалась.

И. Ньютон, 1686 г.: «Вся трудность физики, как будет видно, и состоит в том, чтобы по явлениям движения распознать силы природы, а затем по этим силам изъяснить остальные движения» [1915, с. 3]. Таким образом, задачей механики является *объяснение* существующих в природе движений, совершенно независимо от целей, которые может поставить себе человек в своей деятельности. Это относится и к движениям различных машин, построенных человеком для решения определенных задач (транспорт, перемещение и монтаж грузов, обработка тел и т. п.). Теория движения таких машин в основе своей ничем не отличается, например, *от теории планет. В этой теории человек еще не участвует в изменении* движения уже запущенной машины; его вмешательство в это движение остается еще вне задачи механики как науки. *Поэтому естественно, что Ньютон оставил на разрешение потомкам* свой знаменитый вопрос: «Каким образом движения тел следуют воле и откуда инстинкт у животных?» [1927, с. 287].

Г. Кирхгоф, 1876 г.: «Механика есть наука о движении; мы охарактеризуем ее задачу так: описать *полно и простейшим образом* происходящее в природе движение... не должно быть ни одного вопроса, относящегося к движению, который остался бы без ответа» [1962, с. 5]. Таким образом, речь идет уже не об объяснении, а только об описании происходящих в природе движений: вмешательство человека, т. е. управление, по-прежнему не находит себе места в задаче механики как науки. Следует отметить требование полноты описания. По Г. Кирхгофу, никакие неполные описания движения не соответствуют задаче механики. Ниже мы увидим, что при управлении движением неполные описания играют существенную роль.

П. Аппель в начале XX в. писал: «Предметом механики является решение двух следующих задач: 1. Найти движение, которое получает система под действием заданных сил; 2. Найти силы, способные сообщить системе заданное движение» [1960, с. 15]. При этом, разумеется, заданное движение понимается по Кирхгофу, т. е. как вполне заданное. На первый взгляд может показаться, что заданное движение уже включает в себя некоторую цель. Однако нигде в трактате Аппеля о цели в таком смысле не упоминается. Речь идет лишь о том методе, при помощи которого Ньютон, пользуясь законами Кеплера, открыл закон всемирного тяготения. Понятие цели в таком методе не участвует. Кроме того, при исследовании движений, достигающих наперед заданной цели, чаще всего они не бывают определены полностью, что необходимо *для вычисления потребных сил, по Г. Кирхгофу и П. Аппелю.*

Дж. Синг, 1963 г.: «Ньютонова динамика ставит перед нами задачу решения системы обыкновенных дифференциальных уравнений; можно поэтому с математической точки зрения классифицировать предмет ньютоновской динамики как обыкновенные дифференциальные уравнения» [1963, с. 14]. Итак, задача механики состоит даже не в составлении уравнений движения, а только в их решении. Задача механики суживается до размеров небольшого раздела современного анализа.

Таким образом, несмотря на то что механика, разумеется, является одним из инструментов в практической целенаправленной деятельности человека, даже в постановке ее задачи мы не видим влияния этой целенаправленной деятельности. Задача механики понимается как объяснение, описание существующих в природе движений, в том числе и уже запущенных машин, или даже просто как интегрирование уже заданной системы уравнений. Понятие цели не находит себе места в таком определении.

Управление движением тел, несомненно, представляет собою целенаправленное действие человека; управляя движением, мы стремимся при помощи движения достигнуть определенной, заранее поставленной цели. Такое целенаправленное движение обычно совершается со скоростями, далекими от скорости света, а управляемые объекты представляют собой макроскопические тела. Но всякое подобное движение должно подчиняться общим законам классической механики — кинематики и динамики, в которых фундаментальными понятиями являются: система отсчета, *координата*, *скорость*, *ускорение*, *масса*, *тензор инерции*, *сила* и момент силы. Возникает вопрос, каким образом понятие цели движения должно вписаться в эти законы движений, уже существующих в природе и не зависящих от деятельности человека. Если *это окажется возможным*, *то изучение целенаправленных движений* станет одним из разделов классической механики.

Проще всего сказать, что это невозможно и что классическую механику нельзя применять для изучения управляемых целенаправленных движений, после чего попытаться указать для этого законы из других областей науки. Так, например, Н. Винер пишет, что «...исследование автоматов — из металла или из плоти — представляет собою отрасль техники связи, и фундаментальными понятиями являются понятия сообщения, количества помех... количества информации, методов кодирования и т. п.» [1958, с. 60]. Дальше говорится, что такие автоматы «уже существуют в виде термостатов, автоматических гирокомпасных систем управления кораблями, самолетов-снарядов, особенно самонаводящихся, систем управления артиллерийским зенитным огнем...» [1958, с. 61]. Наконец, высказывается утверждение, что «такой аппарат нужно изучать на основе статистической механики Гиббса, а не классической механики Ньютона» [1958, с. 62].

Автор стоит на противоположной точке зрения и стремится показать, что законы классической механики Ньютона не только

можно, но и нужно применять в теории и практике такой целенаправленной деятельности человека, какой является управление движением тел, в том числе и своего собственного. Кроме того, очевидна неправильность противопоставления механики Гиббса механике Ньютона, так как механика Гиббса построена *на основе* классической механики Ньютона в гамильтоновой формулировке [Гиббс Дж. В., 1946, с. 17].

Вместе с тем очевидно, что при управлении движением тел необходимо также пользоваться средствами связи, работа которых должна быть подчинена основному требованию — достижению цели управления; но цель может быть достигнута только при помощи самого движения тела.

Нам необходимо показать, как такое субъективное понятие, как цель, может быть вписано в объективную причинную механику. В философском плане это указано В. И. Лениным, что видно из следующих цитат. Комментируя высказывания Гегеля по поводу цели, В. И. Ленин писал: «*Материалистическая диалектика*: законы внешнего мира, природы, подразделяемые на *механические* и *химические* (это очень важно), суть основы *целесообразной* деятельности человека.

Человек в своей практической деятельности имеет перед собой объективный мир, зависит от него, им определяет свою деятельность.

С этой стороны, со стороны практической (целеполагающей) деятельности человека, механическая (и химическая) причинность мира (природы) является как бы чем-то *внешним*, как бы второстепенным, как бы прикрытым» (Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 169—170).

Отсюда следует, что при переходе от простого описания явлений природы, в частности движения тел, к управлению этими явлениями, в частности к управлению движением тел, человек должен использовать объективные причинные законы природы в качестве «чего-то внешнего» для достижения своих субъективных целей. Причинность мира становится для человека «как бы второстепенной», «как бы прикрытой» и на первое место он ставит свою цель. Для достижения этой цели необходимо достигнуть единства причинного мира и целенаправленной деятельности человека. Это снова очень ясно сказано В. И. Лениным при критике им утверждения Гегеля, что практика есть логическое заключение, фигура логики.

«„Заключение действования"... Для Гегеля *действование*, практика есть *логическое „заключение"*, фигура логики. И это правда! Конечно, не в том смысле, что фигура *логики* инобытием своим имеет практику человека (= абсолютный идеализм), а vice versa: практика человека, миллиарды раз повторяясь, закрепляется в сознании человека фигурами логики. Фигуры эти имеют прочность предрассудка, аксиоматический характер именно (и только) в силу этого миллиардного повторения.

1-ая посылка: *благая цель* (субъективная цель) versus *действительность* („внешняя действительность")

2-ая посылка: внешнее *средство* (орудие), (объективное)

3-ья посылка, сиречь вывод: совпадение субъективного и объективного, проверка субъективных идей, критерий объективной истины» (Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 198).

Теперь сделаем попытку применить этот силлогизм для включения понятия субъективной цели в объективную механику. В результате получим теорию управления движением, которую назовем механикой управляемого тела.

Первая посылка будет состоять в том, что если мы хотим управлять движением тел, то необходимо заранее поставить задачу, *которая решается при помощи управляемого движения*, или цель, которую оно достигает. Еще до реализации процесса управления человек должен иметь в своем сознании результат, который будет получен вследствие реализации процесса управления.

Вторая посылка будет состоять в том, что объективная действительность порождает препятствия к достижению цели. Движение при существовании этих препятствий и в отсутствие управления не решает поставленной задачи или не достигает цели. Это не достигающее цели движение в теории описывается законами причинной классической механики в форме уравнений движения — кинематических или динамических. Такое движение назовем *естественным*. Уравнения естественных движений в теории являются тем объективным орудием, которое доставляет нам классическая механика. На практике объективным орудием является реализованный объект управления, который движется при невключенной системе управления.

Третья посылка будет также неодинакова для теории и для практики. В теории она будет состоять в том, что объективные средства — уравнения движения — должны быть принудительно приведены к новым уравнениям, описывающим движение, которое «решает» задачу управления или достигает цели управления. Такие уравнения назовем *целенаправленными*. На практике эта посылка будет состоять в том, что движение объекта управления должно принудительно приобрести такие свойства, которые обеспечивают решение задачи управления. Мы можем сказать, что целью управления является реализация принуждения, заставляющего объект управления двигаться так, чтобы свойства принужденного движения обеспечивали решение задачи управления.

В связи с этим в первой посылке и в дальнейшем мы будем различать задачу управления и цель управления.

Под *задачей управления движением тел*, или задачей управления, будем понимать указание любым способом, чаще всего словесно, тех явлений, которые должны как произойти, так и не произойти в объективной природе в результате управления движением. Например, автомобиль должен переместиться из одного места в

другое (явление, которое должно произойти); при этом не должно быть аварий или наездов (явление, которое не должно произойти).

Под *целью управления движением тел*, или целью управления, будем понимать указание тех свойств, которыми движение должно обладать, чтобы задача движения была решена. Эти свойства должны обязательно отличаться от свойств естественного движения, так как если бы естественное движение решало поставленную задачу, то управление оказалось бы ненужным. Необходимые свойства движения должны быть приобретены принудительно, т. е. вследствие процесса управления. Мы можем сказать, что под достижением цели движения нужно понимать принудительное приобретение движением тех свойств, которые обеспечивают решение задачи управления.

Так как движение, решающее задачу управления, описывается при помощи целенаправленных уравнений, необходимо указать способы получения этих уравнений, исходя, конечно, из основных законов классической механики. Для этого необходимо описать целесообразное принуждение в терминах механики.

Всякое принуждение в механике может быть описано двумя способами: по И. Ньютону — при помощи введения в уравнения естественного движения дополнительных сил, которые мы назовем управляющими; по Г. Герцу [1959, с. 40—41] — при помощи связей. Как показал Г. Герц, эти два способа эквивалентны; они будут использованы в дальнейшем, причем особенно важным оказывается способ связей. Однако понятие связи менее широко известно, чем понятие силы. Поэтому рассмотрим подробно развитие *понятия связи в механике*.

Понятие связи в механике

Понятие связи не имеет пока в механике общепризнанного определения.

И. Ньютон [1915, разделы IX и X первой книги] не вводил явно *понятия связи, но рассматривал движение тела* (*по современной* терминологии — материальной точки) по подвижным линиям (орбитам) и по заданным поверхностям, а также случаи качения тел без скольжения.

Ж. Даламбер (1743 г.) также не вводил явно понятия связи. Он рассматривал движения при наличии преодолимых и непреодолимых препятствий [1950, с. 77]. По современной терминологии, *движение при существовании преодолимых препятствий есть движение* в сопротивляющейся среде; под термином же «непреодолимое препятствие» Ж. Даламбер подразумевал то, что после него стали называть связью.

Ж. Лагранж (1788 г.) определял понятие несвободного тела следующим образом [1950, с. 191]: «В случае, когда тела несвободны, т. е. когда они принуждены двигаться по заданным поверхностям *или линиям, или связаны* друг с другом *нитями или* стерж-

нями, либо их движение стесняется иным каким угодно образом,— эти условия, выраженные аналитически, могут быть всегда сведены к условным уравнениям между различными координатами рассматриваемых тел». Таким образом, Ж. Лагранж, по-видимому, понимает связь по Ж. Даламберу — в виде непреодолимого препятствия.

Некоторые ученые считали, что понятие связи в механике вообще не нужно и от него следует избавиться. Так, У. Р. Гамильтон писал в 1834 г.: «Однако наука о действии силы в пространстве и времени претерпела еще один переворот и сделалась более «динамичной», полностью отказавшись от представлений о твердых телах, о сцеплении и о материальных связях, или о представленных геометрических условиях, которые были так удачно использованы Ж. Лагранжем в качестве основы для его рассуждений, и все более склоняясь к тому, чтобы свести все связи и действия тел к притяжению и отталкиванию точек...» [1959, с. 176].

Дж. К. Максвелл (1873 г.), как и Ж. Лагранж, ограничивался лишь иллюстрацией понятия связи. Он писал: «Для определенности мы можем рассматривать систему как связанную при помощи соответствующего механизма с некоторым числом движущихся частей, каждая из которых может совершать прямолинейное и только прямолинейное движение. Воображаемый механизм, который соединяет каждую из частей системы, должен предполагаться свободным от трения, не имеющим инерции и неспособным быть деформированным в результате действия прилагаемых сил. Впрочем, этот механизм служит главным образом для того, чтобы помогать воображению приписать телу положение, скорость и количество движения, которые в исследовании Лагранжа являются чисто алгебраическими количествами» [Максвелл Дж. К., 1952, с. 414].

И. В. Мещерский, по-видимому, был первым, кто дал общее определение понятия связи: «Всякое данное уравнение, конечное или дифференциальное, относительно координат материальной точки представляет, вообще говоря, аналитическую связь, ибо оно выражает условия, в силу которых точка совершает не то движение, которое ей стремятся сообщить приложенные силы» [1888]. Таким образом, Мещерский рассматривает связь как некоторое принуждение. Определение Мещерского легко может быть обобщено на систему точек, твердое тело и систему твердых тел.

Г. Герц (1894 г.) определял связь следующим образом: «Между некоторым количеством материальных точек существует связь, если на основании знания части компонент перемещений этих точек можно высказать суждение об остальных компонентах» [1959, с. 93]. Впрочем, Г. Герц считает это определение только «объяснением».

Определение Мещерского не получило пока общего признания. Причиной этому, по-видимому, является то обстоятельство, что Мещерский не ограничивает порядок дифференциальных уравне-

ний и не требует, чтобы они были линейными и первого порядка. До самого последнего времени считалось общепринятым, что в механике допустимы лишь связи, выражаемые либо конечными уравнениями, либо дифференциальными уравнениями первого порядка. Например, Беген (Beghin) в своей известной работе по гироскопическим компасам прямо говорил, что только такие связи возникают в механике [1921, с. 266]. Более того, существует сомнение в существовании вообще каких бы то ни было других типов связей. Так, Н. Г. Четаев пишет: «Вопрос о механических системах с нелинейными дифференциальными связями является одним из острых вопросов динамики. Прежде всего реальное существование таких связей неясно...» [1932]. Тем не менее Деляссю [Delassus, E., 1913] и Пшеборский [Przeborski, 1932] рассматривали нелинейные связи, в которые входят производные не только первого, но и второго порядка (т. е. ускорения), а В. С. Новоселов [1957] привел пример реализуемой механической системы, подчиняющейся нелинейным дифференциальным связям.

Из этого перечня мы можем прийти к выводу, что недостаток внимания к связям общего вида может быть объяснен существованием сомнения в возможности реализации таких связей. Поэтому необходимо рассмотреть вопрос о том, что́ вообще следует понимать под реализацией связи.

Реализация связей, понимаемых как непреодолимое препятствие, по Ж. Даламберу, есть просто существование непроницаемых (твердых) тел, которые ограничивают движение. Например, реализация связей, налагаемых на поезд, есть просто прокладка рельсового пути. Беген (Beghin) предложил называть такие связи контактными.

В прошлом веке могли считаться реализуемыми только контактные связи; поэтому было достаточно считать, что связь и есть непреодолимое препятствие. С появлением новых отраслей техники становятся возможными другие способы реализации связей, вследствие чего возникает необходимость в расширении понятия самой связи. По-видимому, И. В. Мещерский был первым, кто предвидел возникновение такой необходимости, чем и вызвано появление его определения связи. По поводу реализации таких связей И. В. Мещерский писал следующее: «Дифференциальная связь может быть осуществлена в виде некоторой среды, воздействующей на материальную точку, в ней находящуюся. Эта среда должна обладать такими свойствами, что точка, подверженная ее влиянию и действию сил задаваемых, совершает движение, удовлетворяющее данному уравнению дифференциальной связи» [1888].

Г. Герц предлагал следующую реализацию связей: «По нашему представлению, каждая несвободная система есть часть большей свободной системы. Несвободные системы, для которых это положение не выполняется, не могут быть получены» [1959, с. 192].

Беген ввел особый вид связей, который он назвал сервосвязями, отличающимися способом реализации: сервосвязи реализуются при

помощи построенных человеком искусственных автоматических механизмов. «Связи, реализуемые при помощи этих механизмов, могут быть какими угодно; чаще всего они бывают конечными. Эти связи реализуются не при помощи простого контакта, так сказать, не пассивно. Их реализация связана с использованием различных сил (электромагнитных, давления сжатого воздуха и т. д.) или, иначе говоря, с использованием вспомогательных источников энергии, которые автоматически вступают в действие и автоматически регулируются, причем так, чтобы в каждый момент реализовать ту или иную связь. Этот механизм можно сравнить с живым существом, действующим при помощи непосредственного соприкосновения и регулирующим свои усилия так, чтобы заданная связь была реализована» [Beghin H., 1921, с. 264]. Этот «механизм» Бегена представляет собой не что иное, как «среду» И. В. Мещерского. Определение реализации связи И. В. Мещерского включает в себя *сервосвязи* Бегена как частный случай.

Сервосвязи Бегена удобны для построения теории сложных автоматических устройств типа гирокомпаса и гирогоризонта, неизвестных во времена Ж. Даламбера и Ж. Лагранжа. В настоящее время приобрели большое значение еще более сложные системы, неизвестные еще пятьдесят лет назад, предназначенные для управления движением различных объектов на больших расстояниях или в сложных изменяющихся условиях. Чтобы полнее использовать аналитическую механику в теории управления движением таких объектов, предположим, что системы управления представляют собою средства реализации некоторых связей; назовем эти связи управляющими. Таким образом, мы предполагаем, что система управления представляет собою «среду» в смысле Мещерского. Поскольку связь представляет собою некоторое принуждение, то мы, естественно, приходим к выводу, что управляющая связь может быть понимаема как математическая формализация целесообразного принуждения.

Управляющая связь и цель управления

Допустим, что управляющая связь выбрана таким образом, что движение, совместное с этой связью, достигает цели управления, т. е. приобретает такие свойства, что задача управления решается. Тогда мы можем сказать, что уравнения управляющей связи представляют собой математическую формализацию этих свойств или математическую формализацию цели управления. Приведем простейший пример такой формализации.

Пусть управляемая точка A должна попасть в другую точку B, которая может покоиться или двигаться как угодно. Введем управляющую связь следующим образом: опишем из точки B сферу и потребуем, чтобы управляемая точка A не сходила с этой сферы в течение всего времени ее движения. Пусть радиус этой сферы

зависит от времени таким образом, что он все время убывает и через конечный промежуток времени обращается в нуль; это означает, что сфера стягивается в точку B. Так как управляемая *точка A все время находится на сфере*, то через конечный промежуток времени точка A попадет в точку B, каким бы образом последняя ни двигалась. *Следовательно, задача управления решена. В этом примере сфера есть управляющая связь, а ее уравнение* представляет собою математическую формализацию цели управления. Этот способ формализации называется способом аркана.

Теперь введем основную гипотезу механики управляемого тела.

Всякую цель управления движением можно формализовать в виде уравнений управляющих связей, т. е. в виде условных уравнений, связывающих координаты управляемого объекта.

Пока не известно ни одного примера, противоречащего этой гипотезе, а в работах автора [Коренев Г. В., 1966, 1968, 1971, 1972, 1972а, 1974] приведено большое количество примеров, когда эта гипотеза оправдывается.

Условные уравнения управляющих связей назовем также программой движения.

Теперь первая посылка может быть сформулирована так: чтобы управлять движением, необходимо заранее указать программу движения.

Если движение совершается по программе, или, как мы будем говорить, совместно с программой, то оно по определению имеет именно те свойства, *которые необходимы для того*, чтобы была решена задача управления. Мы можем сказать также, что движение, совместное с программой, достигает цели или является целенаправленным.

Если программа такова, что из нее можно определить зависимость всех координат управляемого объекта от времени, то программу назовем полной, в противном случае неполной. Если программа полна, то целенаправленное движение *определено* в смысле Кирхгофа, т. е. нельзя указать «ни одного вопроса, относящегося к движению, который остался бы без ответа». Однако в случае неполной программы, например, в способе аркана, движение определено не полностью; тем не менее можно утверждать, что оно обладает *основным необходимым для нас свойством* — достигает цели управления или решает задачу управления.

Таким образом, целенаправленное движение необязательно определено полностью в смысле Г. Кирхгофа.

Если нам необходимо, чтобы целенаправленное движение все-таки *было определено полностью*, можно применить способ дополнения программы. Для этого помимо основной задачи управления мы *можем поставить какие угодно дополнительные задачи и для* них подобрать программы, которые назовем дополняющими, если вместе с основной они образуют полную программу. Произвол выбора *дополняющих ограничен формально только этим условием.*

Рассмотрим с этой точки зрения приведенный выше пример

с управляемой точкой. Здесь основная программа есть уравнение сферы; это одно уравнение. Так как движение управляемой точки полностью определяется заданием трех ее координат в виде функций времени, то, как уже указано, основная программа неполна, ее можно дополнить еще двумя условными уравнениями. Например, *мы можем потребовать, чтобы система управления работала* по такому принципу, что направление прямой AB остается неизменным. Это — хорошо известный в теории управления способ параллельного сближения. Так как прямая определяется двумя уравнениями, то всего мы имеем уже три условных уравнения. Можно показать, что полученная таким образом программа действительно полна, т. е. из трех ее условных уравнений можно выразить все три координаты управляемой точки в виде функций времени.

При разработке технической системы управления выбор программы есть некоторый конструктивный акт, по-видимому не поддающийся логической формализации, но очень наглядный и потому обладающий большой эвристической силой. Выбрав программу, мы приходим к вопросу об ее реализации, т. е. постройке такой системы управления, которая могла бы осуществить управление по выбранной программе. Здесь возникают две главные проблемы: информационная и динамическая.

Известно, что управление невозможно без добывания, переработки, передачи и хранения информации. Если цель управления поставлена, т. е. если программа выбрана, то уже можно судить о том, какая информация потребна для управления. Например, если выбрана программа способа аркана (без дополняющих программ), то необходимо непрерывно или достаточно часто иметь информацию о расстоянии AB, т. е. необходимо измерять дальность. Выбор программы сразу дает возможность целенаправленного проектирования потоков управляющей информации.

С другой стороны, для того, чтобы осуществить целенаправленное принуждение, т. е. реализовать управляющую связь, необходимо динамическое воздействие на управляемый объект. Существование программы дает возможность установить величину этих динамических воздействий; если программа полна, то и динамические воздействия определяются полностью; если неполна, то в определении динамических воздействий остается некоторый произвол; им можно распорядиться разумным способом. Система управления должна быть в состоянии выработать необходимое динамическое воздействие.

Отметим, что программирование возможно еще до того, как фактически созданы объект управления и устройства для управления его движением. Метод программирования следует применять именно на самой начальной стадии проектирования, которая следует непосредственно за получением задания как эвристическое средство, позволяющее находить различные проектные решения.

Итак, первая посылка в механике управляемого тела состоит в том, что цель управления ставится в терминах механики — в виде

программы, т. е. в виде уравнений управляющей связи. Это позволяет создать «словарь», связывающий языки механики Герца и механики Ньютона.

Принцип совместности

Вторая посылка в механике управляемого тела состоит в том, что внешнее средство представляется в виде уравнений естественного движения управляемого объекта. Эти уравнения в принципе всегда могут быть составлены по правилам классической механики. Уравнения естественного движения представляют собой математическую модель объекта, которым надлежит управлять. В дальнейших рассуждениях мы будем считать, что эти уравнения нам известны.

Согласно третьей посылке, уравнения естественного движения должны быть принудительно приведены к совместности с программой управления. Для этого нужно изменить или трансформировать уравнения естественного движения, оставляя программу неизменной, так как при управлении программа, т. е. цель управления, является главным фактором, а причинные уравнения естественного движения — «как бы второстепенным».

В математике применяется преобразование переменных в уравнениях, вследствие чего они приобретают новый вид; однако сущность их от этого не меняется: они описывают то же самое объективное явление природы, только другим способом. Нам же необходимы уравнения, описывающие новое явление — управление, т. е. вмешательство человека в ход естественных процессов.

В механике при изучении движения со связями применяется один вид изменения уравнений свободного движения — введение в уравнения специальных сил, порождаемых непроницаемостью тел, которые реализуют наложенную связь; эти силы называются *реакциями связей*. В механике считается очевидным, или, если угодно, постулируется, что реакции входят в уравнения движения аддитивно, т. е. просто прибавляются к действующим силам. Это уже не может быть получено простым преобразованием координат в уравнениях естественного движения; введение аддитивных реакций представляет собою конструктивный акт, совершенный классиками механики.

При управлении движением мы имеем управляющие связи, которые реализуются путем выработки системой управления особых динамических воздействий на управляемый объект: их можно назвать реакциями управляющих связей, или *управляющими* (*программными*) *силами*. Чтобы изменить уравнения естественного движения применительно к этому случаю, мы должны совершить новый конструктивный акт — указать способ этого изменения. В результате изменения мы получим новые уравнения движения, которые будут отличаться тем, что они совместны с управляющей связью, или программой; это означает, что каждое движение, определяемое этими уравнениями, будет достигать заданной цели или

решать поставленную задачу. Путем изменения уравнений естественного движения мы приходим к целенаправленным уравнениям.

Для получения целенаправленных уравнений можно считать, что реакции управляющих связей аналогичны реакциям контактных связей и аддитивно входят в уравнения естественного движения. Однако можно указать много случаев, когда при управлении не появляется аддитивных сил. В этих случаях используются силы, входящие в уравнения естественного движения (в дальнейшем мы будем называть их естественными силами); изменение этих сил не совершается путем введения аддитивных реакций. Например, естественная сила может оставаться постоянной по величине, но система управления изменяет ее направление, оказывая управляющее воздействие. Следовательно, мы должны учитывать возможность применения более общего типа изменения (трансформации) уравнений движения, чем простое введение аддитивных реакций.

Таким образом, для перехода от уравнений естественного движения к целенаправленным уравнениям мы должны снова совершить конструктивный акт, который, по-видимому, нельзя формализовать. Описание этого конструктивного акта назовем *принципом совместности*. Принцип совместности сам может быть введен в различных формах (одна из его возможных формулировок приводится ниже):

Принцип совместности. Чтобы получить целенаправленные уравнения, достаточно *любым образом* изменить (трансформировать) уравнения естественного движения, лишь бы они стали совместными с программой управления и не противоречили основным законам механики.

Таким образом, принцип совместности не определяет способа трансформации естественных уравнений. Выбор этого способа является очередным конструктивным актом, который необходимо совершить для того, чтобы построить теорию управления движением тел. Каждый такой способ непосредственно связан с устройством системы управления движением, под которой понимается совокупность самого управляемого объекта и всех средств управления, т. е. средств, обеспечивающих добывание и переработку всей необходимой управляющей информации и выработку на ее основе управляющих воздействий. Именно поэтому выбор способа трансформации есть конструктивный акт. В результате применения этого акта конструируется не только теория, но и действующая система управления.

Принцип совместности обеспечивает достижение единства или синтез причинной (объективной) механики и субъективной цели управления в виде целенаправленных уравнений движения. Эти уравнения по самому способу вывода таковы, что каждое их решение определяет некоторое движение, достигающее цели управления. Таким образом, факт достижения цели управления установлен независимо от того, проинтегрированы или нет целенаправленные уравнения движения.

Однако, если с теоретической точки зрения целенаправленные уравнения определяют движения, заведомо решающие задачу управления, то это еще не означает, что такие движения фактически осуществимы, так как динамические ресурсы и информационная способность системы управления могут оказаться недостаточными для этого, т. е. система управления окажется не в состоянии выработать управляющие воздействия достаточной величины или собрать необходимую информацию. Решение этого вопроса требует еще ряда конструктивных актов, рассмотрение которых выходит за пределы темы настоящей статьи.

Целенаправленные уравнения обладают одним важным свойством, отличающим их от уравнений естественного движения. В работах автора и других работах [например, Игнатьев М. Б., 1963] показано, что если программа неполна, то в целенаправленные уравнения входят произвольные функции координат, их производных и времени. Если принцип совместности применен так, что для трансформации уравнений движения использованы аддитивные силы, то произвольные функции также входят аддитивно в целенаправленные уравнения. Отсюда следует парадоксальный на первый взгляд вывод: целенаправленные движения не определяются однозначно по начальным условиям, даже если общеизвестные условия существования и единственности выполнены. Кроме начальных условий должны быть заданы также все произвольные функции.

Появление в целенаправленных уравнениях произвольных функций моделирует тот факт, что одна и та же задача при одних и тех же начальных условиях может быть решена при помощи целого класса целенаправленных движений. Например, автомобиль, начиная двигаться из состояния покоя, может попасть в заданную точку различными путями. Чтобы целенаправленное движение было определено по начальным условиям единственным образом, необходим еще один конструктивный акт — выбор произвольных функций. В частности, их выбор может быть осуществлен при помощи описанного выше дополнения программы, т. е. путем постановки дополнительных целей. Очевидно, что тот или иной выбор произвольных функций существенным образом влияет на конструкцию системы управления в целом.

Произвольные функции в уравнениях движения применяются не только в механике управляемого тела. Ими пользуется, например, П. Дирак для решения некоторых вопросов квантовой теории поля. При этом решения уравнений движения также не определяются полностью по одним начальным условиям [Дирак П., 1968, с. 21].

Таким образом, мы видим, что построение теории целенаправленных движений связано с выполнением целого ряда конструктивных, по-видимому неформализуемых (по крайней мере известными способами), актов. Оно напоминает обычный процесс конструирования. Поэтому назовем процесс перехода от естественного

движения к целенаправленному *конструированием движения*. Для технических систем этот процесс, очевидно, развертывается во времени синхронно с общим процессом проектирования системы управления и составляет неотъемлемую его часть. Результат, полученный при конструировании движения, закладывается в систему управления, которая и осуществляет сконструированное движение. Наблюдатель, который не знает всего, что заложено в систему управления, может прийти к заключению, что система управления сама конструирует целенаправленное движение, т. е. действует аналогично некоторому разумному существу.

Несмотря на то что целенаправленное движение не всегда определяется однозначно по начальным условиям, оно всегда остается детерминированным в том смысле, что если заданы начальные условия и произвольные функции, то движение всегда будет одним и тем же и все его характеристики могут быть предсказаны (предвычислены).

Конструирование целенаправленного движения

Рассмотрим несколько подробнее процесс конструирования целенаправленного движения. Для этого выберем простой и широко известный технический пример.

Пусть требуется уничтожить самолет противника при помощи зенитной управляемой ракеты. В этом случае задача управления может быть поставлена многими различными способами. Перечислим некоторые из них. Можно принять, что самолет противника уничтожен, если:

— траектория центра инерции ракеты прошла через некоторую точку самолета противника;

— центр инерции попал в некоторую наперед заданную область, окружающую самолет противника;

— траектория центра инерции прошла от самолета противника не дальше некоторого заданного расстояния;

— при любой из перечисленных формулировок осуществлен обманный маневр.

Перечень таких формулировок можно продолжить, в него могут войти и различные формулировки вероятностного типа. В этом перечне указаны явления, которые должны произойти в результате управления. К явлениям, которые не должны произойти, можно отнести следующие:

— не сбивать собственных самолетов;

— не представлять опасности для своего населения и наземных объектов и т. п.

Для каждой из этих формулировок задачи управления может быть предложено много формулировок цели управления, т. е. много различных способов указания тех свойств управляемого движения, осуществление которых влечет за собой выполнение задачи управления. Примем, для определенности, задачу управления в первой

формулировке. Тогда очевидно, что задача управления решается, если система управления обладает достаточными динамическими ресурсами для придания движению ракеты одного из следующих свойств:

— ось симметрии ракеты все время проходит через самолет противника;

— центр инерции ракеты все время лежит на сфере, описанной из некоторой точки самолета противника, причем радиус сферы в течение конечного промежутка времени убывает до нуля;

— скорость центра инерции ракеты все время проходит через самолет противника;

— самолет противника увлекает в своем движении некоторую *воображаемую кривую*, в частном случае прямую постоянного направления, а центр инерции ракеты все время находится на этой кривой и сближается с самолетом;

— некоторая кривая, проходящая через неподвижную точку, все время проходит через самолет противника, а центр инерции ракеты все время находится на этой кривой и сближается с самолетом и т. д.

Здесь приведены словесные описания управляющих связей, налагаемых на движение ракеты. Можно показать, что для каждой из таких словесных формулировок существует больше одной системы условных уравнений или программ. Возьмем способ параллельного сближения (частный случай четвертой управляющей связи). Не приводя в явном виде формул, дадим словесное описание нескольких программ для параллельного сближения.

Пусть A будет центр инерции ракеты, B — точка, принадлежащая самолету, тогда программы могут быть построены следующим образом:

— координаты точек A и B удовлетворяют уравнению одной и той же прямой постоянного направления, называемой прямой сближения;

— скорости точек A и B лежат в каждый момент времени в одной и той же плоскости, проходящей через прямую сближения, а проекции скоростей на плоскость, перпендикулярную к прямой сближения, в каждый момент равны между собою;

— угловая скорость прямой AB в каждый момент времени равна нулю;

— углы, определяющие направление прямой сближения, постоянны.

Здесь перечислены четыре совершенно различные программы. Для того чтобы выполнить каждую из этих программ, потребуется информация совершенно различных типов, а следовательно, и устройства систем управления будут совершенно различны.

Приняв одну из перечисленных программ, мы тем самым предъявляем вполне определенные требования к потокам управляющей информации. Эти требования могут быть разработаны еще до начала проектирования системы управления; сравнивая между собой

требования при различных программах, мы можем выбрать для реализации оптимальную в каком-то смысле систему управления.

После выбора программы мы можем применить принцип совместности и построить целенаправленные уравнения движения. Если программа неполна, то в уравнения войдут произвольные функции, и потребуется еще выбрать вид этих функций.

Конструирование движения состоит из цепочки связанных между собою неформализуемых конструктивных актов, не применяемых в общей механике. В результате кроме целенаправленных уравнений естественным образом получаются алгоритмы управления и требования к потокам информации.

Обратим внимание на разницу в постановке задачи механики как науки в ее традиционном понимании и в смысле механики управляемого тела.

Задача механики в традиционном понимании есть объяснение движений уже существующих в природе или в технике (помимо вмешательства человека) и предсказание (предвычисление) свойств таких движений на основании найденного объяснения. Предсказания, даваемые механикой, однозначно определены начальными условиями. На примере небесной механики мы видим, что эти предсказания обладают «астрономической» точностью. Задача предвычисления обычно решается путем интегрирования уравнений динамики. Как было указано выше, существует мнение, что интегрирование уравнений динамики и есть главная задача механики в ее традиционном понимании.

Задача механики управляемого тела состоит в конструировании движений, т. е. в получении целенаправленных уравнений движения и алгоритмов управления путем совершения цепочки неформализуемых конструктивных актов, лежащих за пределами механики в ее традиционном понимании. Механика управляемого тела есть исследование новых движений, без управления не существующих в природе, в том числе совершаемых в настоящий момент и еще не завершенных, но безусловно обладающих свойством достигать поставленную цель и решать поставленную задачу. При конструировании движения как следствие получаются алгоритмы управления. Незавершенность конструируемых движений не всегда позволяет использовать интегрирование уравнений динамики в качестве единственного средства исследования движений. Здесь кардинальным является включение понятия субъективной цели, а вместе с нею и необходимой для управления информации, в аналитический аппарат причинной объективной механики. Вследствие этого в понятие конструирования движения входит, в частности, указание информации, которая должна быть собрана, переработана, сохранена и использована для управления. Конструирование движения есть многошаговый процесс, который в случае разработки технических систем развертывается синхронно с конструированием системы управления в целом и включает также конструирование самого объекта управления. При рассмотре-

нии живого существа объект управления и система управления уже существуют, и шаги конструирования движения выполняет само живое существо. Вместе с тем они могут являться шагами в исследовании деятельности живого существа — его двигательного аппарата, сенсорной и нервной системы. При этом обнаруживается, что идеи механики управляемого тела находятся в хорошем соответствии с идеей функциональных систем, введенных в физиологию академиком П. К. Анохиным. Движения, полученные в результате процесса конструирования, не всегда определяются однозначно по начальным условиям.

Механика в традиционном понимании есть наука аналитическая. Механика управляемого тела вносит в нее эвристический, конструктивный элемент, который делает более эффективным использование ее мощного аналитического аппарата для решения современных проблем управления движением тел.

Приспособляемость целенаправленного движения

Таким образом, конструирование целенаправленного движения требует, чтобы заранее была поставлена цель управления и чтобы она была формализована в виде условных уравнений, образующих как бы жесткую программу направленного движения. Многие считают, что такое жесткое программирование противоречит необходимости приспосабливаться (адаптироваться) к изменению обстановки. Автор стоит на противоположной точке зрения и стремится показать, что механика управляемого тела, несмотря на кажущуюся жесткость программирования целенаправленных движений, оставляет достаточно свободы для приспособления.

Обычно считают, что движение должно приспосабливаться (адаптироваться) к обстановке. При рассмотрении управления можно все происходящие явления или события разделить на две группы: во-первых, явления или события, которые образуют собственно процесс управления, и, во-вторых, все остальные явления или события.

Все явления, которые нельзя отнести к самому процессу управления, будем называть обстановкой, в которой осуществляется процесс управления. Всякое изменение обстановки во времени и в пространстве назовем событием. Например, все, что происходит на улице или дороге, есть обстановка для процесса управления автомобилем. При рассмотрении движения автомобиля такие факторы, как состояние тормозов или карбюратора, очевидно, не относятся к процессу управления; эти факторы также необходимо отнести к обстановке.

Различается *внутренняя* и *внешняя* обстановка. Внешняя обстановка порождается явлениями или событиями, происходящими вне системы управления, а внутренняя — явлениями или событиями, происходящими в системе управления, но не относящимися к самому процессу управления.

События, относительно которых нам известно только то, что они могут произойти, но неизвестно, где или когда, назовем *непредсказуемыми*. Для непредсказуемого события неизвестна даже вероятность его появления; этим оно отличается от случайного события.

События, относительно которых нам достоверно известно, когда и где они произойдут, называются *предсказуемыми*. Например, затмение Луны относится к предсказуемым событиям.

Если все события, порождающие обстановку, предсказуемы, то обстановка называется предсказуемой. Если в числе этих событий имеется хотя бы одно непредсказуемое, то обстановка называется непредсказуемой.

Современные технические системы управления создаются для работы в сложной непредсказуемой обстановке. Если управление осуществляет человек, то он прежде всего оценивает, опознает или классифицирует обстановку, существующую в данный момент и в данном месте. Современная система управления также должна без человека оценивать, опознавать или классифицировать обстановку, причем проделывать это непрерывно или достаточно часто. Если управление ведет человек, то после опознания или классификации обстановки он принимает решение о дальнейших действиях. По аналогии с действиями человека говорят, что современная система управления должна без человека принимать решение о дальнейшем поведении.

Классификация обстановки неоднозначна и зависит от цели управления. Например, для человека, идущего по улице, одна и та же обстановка может быть опасной, если он собирается перейти улицу, и безопасной, если он намерен продолжать движение по тротуару. Так как цель должна быть поставлена до того, как начато исполнение движения или некоторого этапа движения, то и классификация как бы предопределена целью. Однако это предопределение также не является однозначным, и на окончательную классификацию влияют другие факторы, которые будут рассмотрены в следующем параграфе.

Классификация обстановки есть конструктивный акт или цепочка таких актов, в результате чего обстановка оказывается разложенной на классы. В разное время в данном месте или в одно и то же время, но с переменой места наблюдения деление обстановки на классы изменяется. Иначе говоря, целенаправленное движение совершается в изменяющейся обстановке. Конструктор движения обычно может разделить все классы обстановки на две группы: ожидаемые и неожидаемые. Например, если создается система управления городским транспортом без водителей, то появление пешехода в неположенном месте относится к ожидаемому классу обстановки, а артиллерийский обстрел транспорта — к неожидаемому. Изменение обстановки во время движения характеризуется в основном ее переходами из одного класса в другой, которые могут быть как предсказуемыми, так и непредсказуемы-

ми. На практике переходы чаще всего непредсказуемы. Таким образом, система, управления обычно должна работать в непредсказуемой обстановке, но не выходящей за пределы ожидаемых классов.

В соответствии с этим назовем движение *приспосабливающимся*, если цель управления достигается или задача управления решается при любом изменении ожидаемых классов обстановки.

Так как обычно обстановка изменяется непредсказуемым образом, то реализующееся в действительности приспосабливающееся движение принципиально непредсказуемо по начальным условиям; нельзя предсказать не только самого движения, но даже и вероятности реализации того или иного движения. Тем не менее движение совершается по законам механики и поэтому детерминировано.

Чтобы обеспечить приспособляемость, необходимо сконструировать движение таким образом, чтобы оно достигало цели управления в любом из ожидаемых классов обстановки. При этом в каждом классе могут потребоваться различные типы управляемых движений. Для достижения приспособляемости достаточно при изменении класса обстановки переходить или переключаться на новый тип управляемого движения, соответствующий новому классу обстановки. При этом нельзя предсказать, где и когда произойдет переход на другой тип управляемого движения. Но так как для каждого класса обстановки целенаправленное движение детерминировано, то и приспосабливающееся движение в целом также детерминировано: если заданы начальные условия и смена обстановки за время движения, то управляемое движение будет однозначно определено и может быть предсказано (предвычислено) во всех деталях. Однако посторонний наблюдатель, не знающий того, каким способом достигается приспособляемость, может отнести приспосабливающееся движение к недетерминированным явлениям. Реализующееся в действительности приспосабливающееся движение детерминировано, но непредсказуемо по начальным условиям.

Итак, задача конструирования приспосабливающегося движения распадается на конструирование цепочки детерминированных целенаправленных движений для всех ожидаемых классов обстановки. Этим снимается противоречие между жестким программированием целенаправленных движений и необходимостью гибкого приспособления к обстановке.

При реализации приспосабливающейся системы управления движением тел в нее должны быть заранее заложены конструктором как способы классификации обстановки, так и принятые типы целенаправленных движений для каждого класса. При изменении класса обстановки система управления без помощи человека производит переключение типов целенаправленных движений, которые сами по себе характеризуются многими конструктивными особенностями, закладываемыми по усмотрению конструктора дви-

жения в проектируемую систему управления. Такими особенностями могут являться:

— программы движения;

— способы трансформации уравнений естественного движения;

— дополняющие программы;

— произвольные функции, входящие в целенаправленные уравнения;

— способы замыкания управления, рассмотрение которых лежит за пределами настоящей статьи.

Таким образом, реализация приспособляемости состоит в том, что каждому ожидаемому классу обстановки в системе управления соответствует своя функциональная подсистема; эти функциональные подсистемы переключаются в соответствии с результатами классификации обстановки [см.: Коренев Г. В., 1974, с. 146].

Следует упомянуть еще о возможности более тонкого приспособления в том случае, если обстановка не выходит за пределы одного какого-нибудь из принятых классов. В этом случае может оказаться, что обстановка характеризуется некоторыми параметрами. Например, для управления автомобилем таким параметром может быть тормозной путь, который характеризует сцепление автомобиля с дорогой. Для зенитной ракеты такими параметрами могут быть наблюдаемые в данный момент координаты цели. Если эти параметры ввести в уравнения управляющих связей, т. е. в программу, то окажется, что программа сама приспосабливается к некоторым изменениям обстановки.

Таким образом, методы механики управляемого тела с успехом могут быть применены к конструированию целенаправленных движений, приспосабливающихся к самой сложной обстановке.

Примеры использования основных принципов конструирования движения

Городской транспорт. Движение каждого транспортного средства в условиях города является классическим примером приспособляемости. Оно происходит в условиях непредсказуемого изменения обстановки на улицах, характеризующегося появлением и движением препятствий и изменением дорожного покрытия или его состояния.

Задача управления каждым транспортным средством может быть сформулирована так: проехать из некоторого заданного места в другое заданное место, причем маршрут движения может не быть жестко задан (явление, которое должно произойти); при этом не должно быть наездов на препятствия (явление, которое не должно произойти). За недостатком места рассмотрим только вторую часть этой задачи.

В последнее время теории городского транспорта уделяется значительное внимание; однако обычно интересуются лишь теори-

ей транспортных потоков, что необходимо для рационального управления этими потоками и проектирования магистралей. Что же касается управления отдельным транспортным средством в потоке, то этому вопросу не уделяется почти никакого внимания. Тем не менее известно, что количество дорожных происшествий непрерывно растет, причем значительная их часть происходит по вине водителя-человека. Постоянное увеличение предельной скорости движения делает работу водителя все более приближающейся к границам возможного для человека. Это подтверждает актуальность разработки автоматической системы, полностью устраняющей человека от управления транспортными средствами. Использование математической формализации понятия цели и вытекающих отсюда методов механики управляемого тела позволяет предложить для этого эффективные способы [Коренев Г. В., 1968, 1974].

Для того чтобы не наехать на препятствие, транспортное средство должно либо держаться от препятствия на определенном безопасном расстоянии, либо объезжать его. Для рельсового транспорта (трамвай, метро, железная дорога) объезд принципиально невозможен. За недостатком места рассмотрим только этот простейший случай. Расстояние до препятствия может считаться безопасным, если оно достаточно для остановки транспортного средства. Расстояние, которое проходит транспортное средство до полной остановки, называемое тормозным путем, зависит от квадрата скорости транспортного средства, от системы и степени использования тормозов, от силы сцепления колес с рельсами (вообще с дорогой) и профиля пути. Так как все эти величины могут изменяться во время движения, то в каждый момент времени тормозной путь будет иметь различную величину, которую назовем мгновенным тормозным путем. Предполагается, что система управления транспортом без водителей имеет надежную систему измерения мгновенного тормозного пути.

Представим себе, что впереди транспортного средства перпендикулярно пути поставлена линия, расстояние которой от транспортного средства зависит от мгновенного тормозного пути; с течением времени эта линия движется вместе с транспортным средством, но расстояние между ними все время изменяется. Все препятствия, находящиеся от транспортного средства дальше этой линии, безопасны в том смысле, что наезда на них можно избежать. Попадание препятствия на линию служит сигналом опасности препятствия; поэтому такую линию удобно назвать линией безопасности. Все препятствия, которые находятся дальше линии безопасности, считаются безопасными и система управления на них никак не реагирует; если препятствие попало на линию безопасности, то препятствие опасно и система управления реагирует на это явление дозированным торможением. Таким образом, линия безопасности служит для классификации обстановки; она выделяет два класса — опасный и безопасный. В этом качестве

линия безопасности может быть названа классификационной линией.

С другой стороны, потребуем, чтобы транспортное средство при наличии препятствия двигалось так, чтобы линия безопасности не сходила с препятствия; тем самым мы задаем программу движения, которую легко получить в виде уравнения линии безопасности. В этом качестве линию безопасности можно назвать программной линией. Нетрудно показать, что при такой программе движения можно заставить транспортное средство остановиться на некотором расстоянии от препятствия, если оно неподвижно, или следовать за ним на некотором расстоянии, если оно движется.

Теперь следует пояснить, что значит «поставить» линию безопасности. Для этого необходимо, прежде всего, чтобы в систему управления было заложено уравнение линии безопасности. Для этого требуется измерение фактического мгновенного тормозного пути или его безопасного приближенного значения. Затем система управления должна непрерывно сканировать пространство впереди и измерять дальность препятствия. Если теперь это измеренное расстояние подставить в уравнение линии безопасности, то, вообще говоря, мы получим величину, большую или меньшую нуля. Знак этой величины будет служить признаком опасности или безопасности препятствия, а абсолютная величина ее укажет степень торможения.

Если описанная программа будет фактически выполняться, то цель управления будет достигнута для очень широкого класса препятствий. Следовательно, движение транспортного средства приспосабливается к ожидаемой обстановке, которая может изменяться непредсказуемым образом.

Отметим, что в данном случае управляющая связь относится к нелинейным дифференциальным связям первого порядка, т. е. к тому типу связей, который в общей механике почти не изучен.

Мы рассмотрели простейшую обстановку, которая близка к тому, что имеет место в метро. При движении трамвая препятствия могут попадать на рельсы сбоку; более сложные способы появления препятствий характерны при движении автомобилей. В этих случаях оказывается, что одной линии безопасности недостаточно, и необходима система таких линий. Однако способ функционирования системы управления остается прежним: необходимо измерение мгновенного тормозного пути, координат препятствий и подстановка этих координат в уравнения линий безопасности. Подробно это рассмотрено в книге [Коренев Г. В., 1974, с. 194].

Можно показать, что если городской транспорт будет состоять только из транспортных единиц, снабженных описанной выше системой управления, то он приобретает некоторые свойства самоорганизации, в частности такое свойство, когда каждая отдельная единица достигает своих целей, не создавая опасности и помех для движения остальных.

Роботы. В последнее время часто приходится слышать, что человечество вступает в эру роботов. Работы только еще начинают развиваться, и дать точное определение понятия «робот» пока затруднительно. Наиболее распространено мнение, что робот есть техническое устройство, предназначенное для воспроизведения целенаправленных движений человека и других живых существ. Робот может иметь «руки» и «ноги» в любом количестве. Эти органы должны быть управляемы для достижения определенных целей; управление может осуществляться как человеком, так и автоматическим автономным устройством, которому человек передает свои сенсорные и управляющие функции. Обычно считают, что одной из существенных частей такой автономной системы управления должна быть вычислительная машина, аналоговая или цифровая, которая в какой-то степени должна осуществлять те же самые функции, которые при управлении выполняет центральная нервная система человека. Поэтому часто говорят, что робот должен обладать искусственным интеллектом, хотя понятие «искусственный интеллект» нельзя считать вполне ясным.

Не представляет никакого сомнения, что движения роботов могут быть сконструированы при помощи методов механики управляемого тела.

Без особого труда можно показать, какими способами удается запрограммировать такие движения, как ходьба робота, в том числе и по пересеченной местности, причем характер изменения препятствий на местности не предполагается известным заранее. Довольно просто программируется обход или преодоление препятствий. Точно так же не представляет особого труда программирование движений, обозначаемых глаголами «взять», «перенести», «положить», «перебросить» и т. п.

Таким образом, первая посылка для роботов сравнительно просто осуществляется.

Вторая посылка во многих случаях представляет значительные трудности, так как в обычной механике недостаточно разработана теория движения сложных систем твердых тел.

Робот представляет собою с точки зрения механики систему с очень большим числом степеней свободы, т. е. его конфигурация в каждый момент времени требует для своего описания большого количества координат. Одно твердое тело имеет шесть степеней свободы. Уравнения движения твердого тела известны в самом общем случае, но почти за три века напряженной работы математиков даже эти уравнения удалось решить до конца только в трех, так называемых классических, случаях: Эйлера, Лагранжа и Ковалевской. Чрезвычайная трудность этой задачи, по-видимому, и заставила многих ученых считать, что полное интегрирование уравнений движения и есть главная задача механики. Но даже примитивные роботы имеют уже до десяти и больше степеней свободы; можно ожидать, что в будущем появятся роботы с десятками и сотнями степеней свободы.

Число дифференциальных уравнений динамики может равняться числу степеней свободы объекта; это — наименьшее возможное число уравнений. Поэтому для сложного робота мы сталкиваемся с необходимостью найти все эти уравнения. Это — чрезвычайно сложная задача, и при общепринятых пока способах записи уравнений движения они для робота приобретут совершенно необозримую форму; весьма вероятно, что их просто будет невозможно выписать, не говоря уже об их полном интегрировании.

Таким образом, в создании робота вторая посылка не вполне готова: недостаточно разработана методика получения естественных уравнений движения систем, подобных роботу. Поэтому необходимо искать новые компактные способы вывода к записи уравнений движения робота.

Один из возможных способов предложен автором [Коренев Г. В., 1974] и основан на применении тензорных методов, которые в механике практически до сих пор почти не использовались. Оказывается, что тензорная запись удобна также и для формализации целей движения робота, т. е. для постановки программ его движения. Автором сделана попытка предложить такой способ вывода уравнений естественного движения, а также и целенаправленных уравнений движения робота, который можно было бы автоматизировать при помощи цифровых машин. Если это удастся, то не возникнет необходимости даже в записи уравнений на бумаге: машина сможет их выводить сама и затем сразу же производить численное интегрирование, выдавая на печать лишь окончательные результаты.

Третья посылка состоит в применении принципа совместности для получения целенаправленных уравнений. Число целенаправленных уравнений зависит от принятого способа программирования движения, т. е. от первой посылки; оно может оставаться очень большим, но может быть и сведено к малому числу, вплоть до одного уравнения.

В случае полной программы оказывается возможным сразу, без интегрирования уравнений движения, определить управляющие силы (первая задача динамики), а затем найти потребные мощности приводов и реакции в соединениях звеньев роботов.

Как уже указывалось, метод получения целенаправленных уравнений остается таким же, как и для уравнений естественного движения. Следовательно, для целенаправленных уравнений в принципе также возможен машинный вывод.

Человек. Человек управляет движениями собственного тела для достижения определенных целей, которые он заранее перед собой поставил. В этом смысле движения тела следуют воле человека и подчиняются законам механики. Это не отрицается физиологами. Так, И. П. Павлов пишет: «Человек есть, конечно, система (грубее говоря — машина), как и всякая другая в природе, подчиняющаяся неизменным и единым для всей природы законам; но система... единственная по своему высочайшему саморегулиро-

ванию» [1932, с. 491—492]. Но движения тел с далекими от скорости света скоростями подчиняются общим для всей природы законам механики Ньютона. Следовательно, применимость общей механики не вызывает сомнений у физиологов (в отличие от Н. Винера). Но возникает вопрос: подчиняются ли целенаправленные движения человека законам механики управляемого тела.

Поскольку в механике управляемого тела основным понятием является цель движения, формализованная в виде программы, то для применения методов механики управляемого тела необходимо прежде всего допустить, что, во-первых, человек каким-то способом формализует свои цели и что, во-вторых, эти формализации каким-то образом сохраняются в управляющем аппарате человека. Эти допущения могут быть проверены только путем постановки специальных экспериментов и сравнения результатов с выводами из теории движения человека, основанной на методах механики управляемого тела. Насколько автору известно, эксперименты такой направленности на здоровом неоперированном человеке нигде не ставились и не проектировались. Пока такие эксперименты не поставлены, нам остается просто распространить на целенаправленные движения человека основную гипотезу механики управляемого тела, и на этой основе готовить теоретический материал для сравнения с последующими экспериментами. Это распространение следует пока считать лишь правдоподобной гипотезой. Однако уже существуют точные эксперименты с зрительным аппаратом здорового человека [Ярбус А. Л., 1965]. Изучение этих материалов показывает, что движение зрительного аппарата вполне согласуется с основной гипотезой механики управляемого тела и что, следовательно, ее распространение на движения человека не является нелепым.

Такова первая посылка механики управляемого тела в применении к движениям человека.

Вторая посылка состоит в том, что уравнения естественного движения тела человека могут быть получены при помощи законов классической механики И. Ньютона. В принципе это, по-видимому, так. Но тело человека с точки зрения механики представляет собою объект еще более сложный, чем робот, который обычно считают состоящим из абсолютно твердых звеньев. Элементы, из которых составлено тело человека и других животных, вообще говоря, не могут считаться абсолютно твердыми телами. Абсолютно твердое тело есть не больше как абстракция: таких тел в природе не существует. Например, камень в большинстве случаев может считаться абсолютно твердым телом, но при очень больших ускорениях он начнет деформироваться и теория его движения, основанная на применении понятия абсолютно твердого тела, перестанет служить. Может оказаться также, что существует такой класс движений тела человека, когда оно может считаться составленным из абсолютно твердых тел. Те попытки построения теории движения тела человека, которые встречаются в нашей и иност-

ранной литературе, основаны на этом предположении. В принципе возможно построить теорию, учитывающую деформацию звеньев, из которых составлено тело человека, так как уже существуют теории движения деформируемых тел и теории движения тел с полостями, наполненными жидкостью. К целенаправленным движениям таких тел можно применить методы механики управляемого тела. Однако эти теории, по-видимому, должны быть модифицированы для применения к человеку, так как, например, известно, что кровь не есть жидкость в обычном для гидродинамики понимании этого слова. По-видимому, изучение этого круга вопросов находится в самой начальной стадии.

Поэтому в настоящее время мы имеем средства для теоретического исследования только таких целенаправленных движений, для которых можно считать тело человека составленным из твердых тел, соединенных шарнирами. Такую модель тела человека назовем базисной моделью.

Таким образом, вторая посылка механики управляемого тела в случае движений человека состоит в том, что его тело заменяется базисной моделью, и класс исследуемых движений ограничивается только теми движениями, для которых базисная модель применима со степенью точности, достаточной для сравнения с экспериментом. По-видимому, такими движениями окажутся ходьба, бег, преодоление препятствий, некоторые движения гимнастов [Назаров В. Т., 1969], движения рук.

Но очевидно, что базисная модель тела человека представляет собою и модель некоторого сложного робота. Поэтому исследования движений человека и робота полезно вести параллельно.

Третья посылка состоит в применении принципа совместности к базисной модели. Однако программы, которые использует человек, нам неизвестны, и даже неизвестно, действительно ли он их использует. Поэтому, исходя из предположения, что движения человека запрограммированы, необходимо найти соответствующие программы. Аналитическое решение подобного вопроса, по-видимому, очень сложно. Поэтому можно предложить следующий метод. Пусть мы хотим исследовать некоторое целенаправленное движение человека. Осуществим регистрацию всех координат участвующих в движении звеньев тела; построим базисную модель и для нее найдем целенаправленные уравнения движения. Решим целенаправленные уравнения и сравним полученное движение с действительным движением человека. Проделав необходимые эксперименты с учетом специфики различных людей и различных программ, мы сможем найти ту из них, которая ближе всего описывает движения человека. Повторив указанную процедуру достаточное число раз для различных движений, придем к выводу о пригодности или непригодности основной гипотезы механики управляемого тела к целенаправленным движениям человека.

По-видимому, окажется, что часто программа движения человека будет неполной, причем степень неполноты очень велика —

нужно много дополняющих программ, чтобы получить полную программу. При помощи выбора этих дополняющих программ или произвольных функций в целенаправленных уравнениях человек делает свое движение однозначно определенным. Но он свободен сделать тот или иной выбор; возможно поэтому, что целенаправленные уравнения с дополняющими программами или произвольными функциями являются моделями свободы воли в части, касающейся движений тела. Эти модели детерминированы. Если предположить, что выбор произвольных функций или дополняющих программ делается человеком с определенной целью, например, приспособиться к некоторым условиям, внешним и внутренним, то предлагаемая математическая модель свободы воли оказывается полностью детерминированной.

Если основная гипотеза в применении к человеку будет подтверждена экспериментом, то откроется поистине необозримое множество научных и практических ее применений.

И. П. Павлов писал: «Настоящая законная научная теория должна охватывать не только весь существующий материал, но и открывать широкую возможность дальнейшего изучения, позволительно сказать, безграничного экспериментирования» [1932, с. 487]. Теория целенаправленных движений человека, основанная на базисной модели и принципе совместности, в указанных выше пределах, может удовлетворить этому требованию И. П. Павлова. Кроме того, представляется возможным теоретически учесть те особые свойства и деформируемость, которыми обладают в действительности органы человеческого тела.

Как известно, возрастает интерес к способам, при помощи которых центральная нервная система выполняет свои функции. Вспомним слова Сеченова: «Все бесконечное разнообразие внешних проявлений мозговой деятельности сводится окончательно к одному лишь явлению — мышечному движению» и далее: «...должно придти, наконец, время, когда люди будут в состоянии так же легко анализировать внешние проявления деятельности мозга, как анализирует теперь физик музыкальный аккорд или явления, представляемые свободно падающим телом» [1952, с. 9, 11]. Теория целенаправленных движений человека, основанная на базисной модели и ее будущих модификациях, в какой-то степени поможет осуществиться этому предвидению И. М. Сеченова.

В настоящее время уже осуществлено изучение методами механики управляемого тела таких движений, как движение простейшей модели руки в процессе письма [Коренев Г. В., Придворов В. С., 1974, с. 193], а также движение зрительного аппарата, причем результаты обнаруживают хорошее согласие с экспериментальными результатами А. Л. Ярбуса [1965]. Построена также теория целенаправленных движений системы «глаз—рука» [Коренев Г. В., 1974, с. 130].

Многие современные физиологи пытаются применить механику Ньютона к исследованию движений человека. К сожалению, они

не пользуются методами механики управляемого тела, а уровень их работ с точки зрения обычной механики оставляет желать много лучшего.

Наиболее известным среди физиологов, занимавшихся движениями человека, является Н. А. Бернштейн. Рассмотрим, как обстоит дело с применением им механики к описанию движений человека. Он отмечает трудность такого описания. «Эта трудность проистекает, главным образом, от появления при движениях подобной цепи большого числа сил взаимодействия между звеньями цепи, иначе называемых реактивными силами, и бурно возрастающих по количеству, амплитудам и степени сложности с появлением новых степеней свободы» [1945, с. 29]. Заметим, что в механике эти силы обычно называют силами реакции, а под реактивными силами в механике понимают совершенно другое. Далее Н. А. Бернштейн пишет: «Непослушность и трудная управляемость кинематических цепей бурно возрастает с увеличением числа входящих в нее сочленений, вследствие того, что при этом очень интенсивно возрастают и усложняются реактивные силы, сбивающие движение цепи ... Огромные осложнения, привносимые реактивными силами, позволяют высказать в виде общего утверждения, что трудно не управление зараз тридцатью мышцами, а трудно управлять зараз тремя сочленениями одной цепочки» [там же, с. 54—55]. «Уровню синергий нужно все богатство и совершенство его талямических афферентаций, чтобы гибко лавировать между всеми этими реактивными силами и превратить их динамическую неурядицу в штампованный узор» [там же, с. 56].

В действительности механика показывает, что силы реакций, развивающиеся в сочленениях звеньев, вообще не могут влиять на их движение, так как со времени Лагранжа известно, что эти силы могут быть исключены из уравнений движения. Но реакции внешней среды, о которых Н. А. Бернштейн вовсе не упоминает, действительно играют существенную роль. Например, реакция твердой поверхности при ходьбе по ней является основной движущей силой. Однако учет этой реакции в механике управляемого тела не является особенно сложным.

С другой стороны, следует отметить, что исследования многих квалифицированных механиков, посвященные движениям человека, страдают неоправданными упрощениями. Например, в США исследуют процесс ходьбы, считая ноги невесомыми и безынерционными [Таунсенд и Сейрег, 1972, с. 210].

Чтобы избежать описанных недоразумений при исследовании движений человека, специалисты по механике и ученые биологического профиля должны работать совместно.

Вернемся снова к теории Н. А. Бернштейна. Эта теория рассматривает в качестве основного инструмента исследования понятие об иерархии движений. Любопытен приводимый им пример в качестве одного из эмпирических обоснований иерархичности движений человека: «Один больной не может поднять руки по при-

казанию «подними руку», но без затруднения поднимает ее по заданию «сними картуз»» [1945, с. 27]. Этот пример естественнее объясняется с точки зрения механики управляемого тела: его можно истолковать следующим образом: у больного выпадает не уровень из иерархии движений, как считал Н. А. Бернштейн, а одна или несколько из целей движения. Поэтому следует, видимо, говорить не об иерархии движений, а о многоуровневости целей, что, естественно, не одно и то же. В итоге отметим, что эта теория не находится в соответствии с теорией функциональных систем академика П. К. Анохина. Механика же управляемого тела хорошо вписывается в теорию функциональных систем П. К. Анохина.

Заключение

В работах классиков марксистской философии имеются общеметодологические идеи о соотношении цели и целеполагающей деятельности, средств достижения цели и среды, а также о совпадении *субъективного и объективного в целенаправленной* деятельности человека. Эти идеи помогли поставить проблему включения субъективной цели в объективную механику и методологически обосновать построение основы теории управления движением, *или механики управляемого тела.*

Введение понятия цели движения, формализованной математически в виде некоторых условных уравнений (управляющих связей) привело к трем важным результатам.

Во-первых, осуществлен синтез объективной причинной механики с понятием субъективной цели, вследствие чего оказывается возможным применить весь мощный аппарат аналитической механики к исследованию движений, достигающих наперед заданной *цели или следующих воле.*

Во-вторых, кроме традиционной задачи механики — объяснения существующих в природе движений, реализующихся без участия человека,— оказалось возможным конструировать новые движения, *удовлетворяющие требованиям*, заранее поставленным человеком. В качестве одного из таких требований можно указать приспособляемость движения к обстановке, изменяющейся непредсказуемым образом.

В-третьих, появилась принципиальная возможность изучать движения человека, следующие его воле, а также дать детерминистское толкование свободы воли в той части, которая относится к выполнению движений.

Литература

Аппель П. Теоретическая механика, т. 1. М., 1960.

Бернштейн Н. А. К вопросу о природе и динамике координационной функции.— *Психология. Движение и деятельность. Ученые записки* МГУ, 1945, вып. 90.

Винер Н. Кибернетика. М., 1958.

Гамильтон У. Р. Об общем методе в динамике.— В сб.: Вариационные принципы динамики. М., 1959.
Герц Г. Принципы механики, изложенные в новой связи. М., 1959.
Гиббс Дж. В. Основные принципы статистической механики. М — Л. 1946.
Даламбер Ж. Динамика. М.— Л., 1950.
Дирак П. Лекции по квантовой механике. М., 1968.
Игнатьев М Б Голономные автоматические системы. М.— Л., 1963.
Кирхгоф Г. Механика. М., 1962.
Коренев Г. В. Введение в механику управляемого тела. М., 1964.
Коренев Г. В. Развитие учения о связях в механике.— В сб.: История и методология развития естественных наук, вып. IV. М., 1966.
Коренев Г. В. Система управления любым средством городского транспорта, приспосабливающаяся к внешней обстановке.— Тезисы докладов на IV Всесоюзном совещании по автоматическому управлению, кн. I. Тбилиси, 1968.
Коренев Г. В. О движениях, следующих воле.— Рефераты докладов IV Всесоюзного совещания по проблемам управления, ч. III. М., 1971.
Коренев Г. В. О движениях человека, достигающих наперед заданной цели.— «Автоматика и телемеханика», 1972, № 6.
Коренев Г. В. О механической сущности проблемы «человек и машина».— Труды семинара: Роботы-манипуляторы для автоматизации ручных и вспомогательных работ. Л., 1972 (а).
Коренев Г. В. Цель и приспособляемость движения. М., 1974.
Коренев Г. В., Придворов В. С. Кинематика и динамика пищущего манипулятора.— Труды V Всесоюзного симпозиума по теории, принципам устройства и применению роботов и манипуляторов. Л., 1974.
Лагранж Ж. Аналитическая механика, т. II. М.— Л., 1950.
Максвелл Д. К. Трактат об электричестве и магнетизме.— В сб.: Избранные сочинения по теории электромагнитного поля. М., 1952.
Мещерский И. В. Дифференциальные связи в случае одной материальной точки.— В сб.: Сообщения и протоколы заседаний математического общества при Харьковском университете. Харьков, 1888.
Назаров В. Т. О механическом моделировании техники исполнения гимнастических упражнений.— «Теория и практика физической культуры», 1969, № 12
Новосёлов В. С. Пример нелинейной неголономной связи, не относящейся к типу Н. Г. Четаева.— «Вестник МГУ», 1957, вып. 4, № 19.
Ньютон И. Математические начала натуральной философии.— «Известия Николаевской морской академии», вып. IV. Пг., 1915.
Ньютон И. Оптика. М.— Л., 1927.
Павлов И. П. Ответ физиолога психологам.— В сб.: Двадцатилетний опыт объективного изучения высшей нервной деятельности. Л., 1932.
Сеченов И. М. Рефлексы головного мозга.— Избранные произведения, т. 1. М., 1952.
Синг Дж. Классическая динамика. М., 1963.
Таунсен и *Сейрег.* Оптимальные траектории и управления для систем связанных твердых тел.— Труды Американского общества инженеров-механиков, № 2. М., 1972.
Четаев Н. Г. О принципе Гаусса.— Известия физико-математического общества при Казанском университете, т. VI, 1932—1933.
Ярбус А. Л. Роль движений глаз в процессе зрения. М., 1965.
Beghin H. Etude théorique des compas gyrostatique Anschütz et Sperry, Ann. Hydr. Paris, 1921.
Delassus E. Leçons sur la dynamique des systemes matérielles. Paris, 1913.
Przeborski. Die allgemeinsten Gleichungen der klassischen Mechanik.— «Math. Zeitschr.», H. 2, 1932.

ПЕРЕРАСТАНИЕ ВАЖНЕЙШИХ ПОНЯТИЙ КИБЕРНЕТИКИ В ОБЩЕНАУЧНЫЕ КАТЕГОРИИ

Э. П. Семенюк

К числу важных методологических задач марксистско-ленинской философии принадлежит, как известно, исследование категориального аппарата науки, отдельных ее областей и даже отдельных теорий, доктрин, гипотез. Изучение категорий — фундаментальных, основополагающих понятий — становится особо необходимым, когда речь идет о молодых, только формирующихся отраслях научного знания или же о дисциплинах, чье развитие оказывает существенное влияние на судьбы науки в целом. Кибернетика, на наш взгляд, зримо объединяет в себе обе эти черты, и уже поэтому значение философского анализа ее категориального аппарата трудно переоценить. Кроме того, как будет показано далее, со сферой основных понятий кибернетики тесно связано качественно новое явление, представляющее особый интерес для современной науки.

Категории кибернетики или философии?

Отправным моментом в изучении категориального аппарата научной мысли до сих пор выступает традиционное деление всех категорий науки на два основных типа — философских и специально-научных. Долгое время такое дихотомическое деление категорий было вполне обоснованным и достаточным, поскольку практически не возникало сомнений и разногласий, к какому из этих двух типов отнести научную категорию: демаркационная линия между ними пролегала довольно четко. Действительно, казалось бы, все здесь очень просто — основополагающие понятия либо употребляются только в сфере отдельных научных дисциплин (и их логично признать специальными, частнонаучными категориями), либо же составляют важный инструмент человеческого познания в целом и поэтому являются категориями гносеологии, диалектики, философии. Так оно было в течение многих столетий. Однако в настоящее время положение изменилось. С развитием кибернетики, системных исследований появился ряд категорий со спорным статусом: исследователи относят их то к одному типу, то к другому. Таковы, например, понятия структуры, системы, элемента, функции, модели. Одной из самых показательных в этом отношении стала категория информации, поэтому подробнее покажем суть возникших разногласий именно на ее примере.

Преобладающей в нашей философской и кибернетической литературе является трактовка категории информации как одного из основных понятий кибернетики. Такое понимание приобрело широкое «хождение», поскольку вошло в энциклопедии (БСЭ, 2-е изд., т. 51, статья «Информация»; «Философская энциклопедия», т. 2,

статья «Кибернетика»), в «Философский словарь» (статья «Информация»), в учебники.

В кибернетике понятие информации действительно является одним из основных, оно лежит в самом фундаменте кибернетической концепции. Однако в аспекте нашего рассмотрения важно то, что «информация» понимается как частнонаучная категория. Специальный характер теории информации не вызывает сомнений, хотя под влиянием неопозитивистской концепции науки некоторые исследователи (порой даже такие крупные, как Л. Бриллюэн) и пытаются трактовать ее как универсальную методологию научного познания, т. е. возвести в ранг философской дисциплины. Убедительная критика такой позиции дана А. Д. Урсулом [1967; 1971, с. 34—35]. Что же касается кибернетики, то и она, при всей широте ее предмета и при всем исключительном значении для современного научного знания, в целом все же остается специальной, частной наукой, хотя и с очень развитой философской проблематикой. И. Б. Новик, Г. Клаус, П. В. Копнин, Т. Павлов и другие философы-марксисты неоднократно показывали несостоятельность любых попыток выдать кибернетику за некую новую «науку наук», новую философию.

Итак, первая точка зрения (повторяем, что она сейчас *является преобладающей*) *состоит в том, что понятие информации*, будучи одним из основных в кибернетике, принадлежит в силу этого к числу частнонаучных, специальных категорий.

Не оспаривая роли информации как одной из основных категорий кибернетики, ряд авторов вместе с тем считают такое понимание уже недостаточным, узким. По их мнению, это понятие уже *переросло рамки частной науки, какой является кибернетика*, и должно быть признано философской категорией. Такое понимание развивается в ряде работ чехословацкого философа И. Земана; одна из них так и называется — «Информация как философская категория». В. А. Шовкопляс [1964, с. 10] тоже считает, что «объективность и всеобщность информационной взаимосвязи в материальном мире дает основание включить понятие информации в общефилософскую систему категорий». К этому приближается и В. М. Адров: «Понятие информации по своей абстрактности и общезначимости находится на уровне общефилософских категорий» [1967, с. 188]. По мнению Л. Н. Курчикова, понятие информации в определенных моментах выступает как философская категория [1970, с. 71]. Безоговорочное отнесение этого понятия к разряду философских категорий можно встретить в работах нефилософского характера, при исследовании различных проблем специальных отраслей знания, например в теории измерений [Карандеев К. Б. и др., 1961].

Отнесение понятия информации к разряду философских категорий не получило широкого распространения в науке (по крайней мере, в сравнении с первой рассмотренной нами точкой зрения). Критика такого решения вопроса дана в ряде работ П. В. Копнина,

Н. И. Жукова и других исследователей. Однако упрощением было бы не видеть объективных предпосылок этой тенденции, объясняя ее лишь как некритическое, механическое заимствование отдельными авторами терминологии специальных отраслей знания (и прежде всего кибернетики) под видом развития, обогащения категориального аппарата философии. Дело, очевидно, обстоит сложнее: за причинами субъективного плана должны скрываться более глубокие, объективные причины. В этом косвенно убеждает и то, что ряд других категорий (структура, система, элемент, функция, модель и т. п.) признаются философскими еще чаще, чем понятие информации, хотя одновременно достаточно распространена и трактовка их как кибернетических, то есть специальных, частнонаучных.

На наш взгляд, объективной основой противоречий в определении научного статуса подобных категорий является внутренняя противоречивость, двойственность самих этих категорий. Логично предположить, что наряду со свойствами частнонаучных понятий эти категории имеют ряд признаков, роднящих их с категориями философии. Чтобы проверить эту гипотезу, проанализируем данную группу понятий в свете основных различительных черт между категориями частных наук и философскими категориями.

Недостаточность дихотомического деления категорий в современной науке

В основе различения категорий частных наук и философии лежит в первую очередь степень общности обозначаемых ими явлений, отражением чего выступает сфера научного употребления этих категорий. Категории специальных наук, будучи в известных областях знания основополагающими, наиболее общими понятиями, обозначают все же сравнительно узкие, конкретные явления действительности и в силу этого употребляются только в рамках тех наук, где эти явления выступают непосредственными объектами исследования. Таковы, например, «число» (математика), «элементарная частица» (физика), «организм» (биология). Как подчеркивают многие исследователи, общефилософские категории в отличие от эпистемологических применимы ко всем без исключения явлениям действительности.

Правда, вопрос о признании всеобщности отличительной чертой философских категорий не имеет пока однозначного решения в нашей философии. Против этого возражают, например, П. В. Копнин, В. И. Чернов. Не входя здесь в обсуждение этой проблемы (ее подробный анализ выходит за рамки задач данной статьи и может быть предметом самостоятельного исследования), отметим лишь, что в любом случае нельзя отрицать особую широту объема философских категорий по сравнению с частнонаучными: она вытекает из самой специфики предмета философии. На предельно возможную общность основных *философских гносеологических ка-*

тегорий указывал В. И. Ленин: «...есть ли более широкие понятия, с которыми могла бы оперировать теория познания, чем понятия: бытие и мышление, материя и ощущение, физическое и психическое? Нет. Это — предельно широкие, самые широкие понятия, дальше которых по сути дела... не пошла до сих пор гносеология» (Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 149). Разумеется, признание высокой степени общности характерной, отличительной чертой философских категорий вовсе не означает, что эта черта является достаточной для отнесения какой-либо категории к разряду философских. П. В. Копнин и другие исследователи глубоко правы в поисках других признаков, которые в своей совокупности могли бы считаться достаточными для философской категории.

Именно в силу своей предельно высокой степени общности философские категории употребляются во всех науках без исключения: «они создаются на более широкой основе, чем понятия любой конкретной области знания, в них обобщен и экстраполирован опыт всего познания, а не одного какого-либо определенного объекта» [Копнин П. В., 1968, с. 181].

История развития таких категорий кибернетики, как система, элемент, структура, функция, модель, информация, показывает, что круг обозначаемых ими явлений, вначале довольно ограниченный, постепенно и неуклонно расширялся. Теперь уже эти категории по степени общности обозначаемых явлений приближаются к философским. Правда, в современной трактовке всех этих понятий (равно как и их взаимоотношений) немало разногласий, и это, конечно, усложняет оценку их объемов, однако сделанный выше общий вывод все же представляется правомерным. Многие исследователи, например, понимают информацию как феномен предельно широкой общности, как атрибут материи. По нашему мнению, более обоснованной является другая точка зрения (ее развивают Б. С. Украинцев, Н. И. Жуков, А. М. Коршунов, Г. Г. Вдовиченко и другие ученые): информация присуща не всей материи и не всем процессам взаимодействия в природе, а лишь тем из них, которые связаны с управлением, с самоуправляющимися системами; иначе говоря, информация — явление функциональное, в отличие от отражения, носящего атрибутивный характер [см.: Украинцев Б. С., 1963; Жуков Н. И., 1971]. В соответствии с этой концепцией информация возникла вместе с жизнью и характеризует органическую природу, общество и ту часть неживой природы, которая волей человека вовлечена в процессы управления — высокоразвитую технику. Как видим, и при этой трактовке понятие информации, не будучи предельно широким, все же отличается очень высоким уровнем обобщения. Аналогично этому все дискуссии относительно понятий системы, структуры, функции не дают оснований сомневаться в высокой степени их общности (то есть в очень широком объеме).

Следствием такого широкого объема указанных категорий стало их быстрое распространение в самых разных областях со-

временной науки. Биология и экономика, теория измерений и автоматика, психология и космонавтика, лингвистика и педагогика, эстетика и науковедение — таков далеко не полный спектр научных дисциплин, активно использующих сегодня эти понятия. В той или иной мере они важны для каждой отрасли знания. Поэтому можно сказать, что по степени использования в науке понятия этой группы отошли от категорий специальных наук, *применяемых лишь в рамках одной или нескольких дисциплин*, и приближаются к философским категориям. Как отмечает П. В. Копнин, категории философии вбирают в себя опыт не только естественных, но и общественных наук, они «не могут плодотворно развиваться, если в их содержании не учитывать развитие человеческого общества, через которое нам дается природа» [1968, с. 192]. В категориях системы и элемента, структуры и функции, а особенно модели и информации это условие выполняется со всей полнотой и очевидностью: именно в науках об обществе и человеческом познании эти понятия находят самое активное и разностороннее применение.

Но есть здесь одно существенное различие: подобно категориям частных наук, рассматриваемые нами понятия в основном употребляются только прямо, непосредственно, в своей единственной форме, тогда как для философских категорий характерно *также и опосредованное употребление, через понятия специальных* наук. Примерами опосредования категорий количества и качества могут быть: в физике — энергетические эквиваленты, раскрывающие количественно переход одного вида энергии в другой (например, механический эквивалент теплоты); в химии — валентность элемента как способность его атома к присоединению или отдаче определенного количества электронов при взаимодействии с другими атомами, в зависимости от числа недостающих до нормы (или, наоборот, превышающих норму) электронов на внешней оболочке. В понятии валентности можно видеть также опосредование категорий причины и следствия. Такое содержание философских категорий в понятиях частных наук П. В. Копнин называет имплицитным.

Прямое, непосредственное употребление понятий структуры, системы, информации и т. п. (как и всех категорий специальных наук) *свидетельствует о меньшей степени абстрагирования в них* по сравнению с философскими категориями. Конечно, конкретные проявления в разных областях действительности, объединяемые в категориях информации, структуры и т. п., обозначаются через разные научные понятия. Для информации это, например, содержание мышления, генетический код наследственности, сообщение в кибернетическом устройстве, научная продукция и т. п. Но между категорией информации и этими понятиями (как и во всех других аналогичных случаях) существуют отношения родо-видового соподчинения, а не опосредованного выражения одной категории через другие.

Еще одно важное различие категорий философии и частных наук состоит в том, что первые фиксируют не структуры (или какие-то другие характеристики) отдельных объектов или их классов, а наиболее общие свойства, связи и отношения. В этом плане понятия рассматриваемой нами группы гораздо ближе к философским категориям, чем к частнонаучным: в каждом из них выражается не структура какого-либо объекта или класса объектов и не локальное свойство, а именно характер связи, отношения, взаимодействия, имеющего достаточно общий (хотя, возможно, и не всегда предельно широкий) объем. Нетрудно видеть, что это относится и к понятию структуры.

С этим важным свойством данной группы категорий органически связано определение их роли в развитии методов научного познания. Известно, что в отличие от понятий специальных наук, выражающих конкретные структуры или связи и отношения конкретных исследуемых объектов (как максимум — ограниченных классов явлений), философские категории играют другую роль — методологических принципов научного исследования и объяснения любых возможных объектов. Это и понятно: совокупность категорий материалистической диалектики выражает наиболее общие законы развития мира в целом. В связи с этим П. В. Копниным особо подчеркивается эвристическая функция категорий диалектики. Философские категории не только обобщают достижения всех частных наук, базируются на них, но «они также и предвосхищают новые достижения, открывают широкие возможности для научного творчества, ведут его в определенном направлении» [Копнин П. В., 1969, с. 186].

По мнению В. С. Тюхтина, не только философские категории, но и понятия частных наук характеризуются двумя аспектами — онтологическим и логико-гносеологическим [1968, с. 52]. С этим можно согласиться, подчеркнув, однако, что в категориях философии логико-гносеологический аспект является доминирующим, его удельный вес и значение несравнимо больше, чем в частнонаучных понятиях. Напомним, что философские категории выступают непосредственной основой таких общих методов научного познания, как анализ и синтез, формальный и содержательный анализ, качественный и количественный анализ, логический и исторический анализ, абстрагирование и конкретизация, раскрытие причинно-следственных связей и т. п. Можно считать, что в этом отношении понятия системы, структуры, функции, модели, информации и т. п. приближаются к философским категориям: каждое из них позволяет подойти к исследованию самых разнообразных объектов и отношений с какой-то единой, общей точки зрения. Другими словами, каждое из этих понятий превращается в основу особого, специфического — системного, структурного, функционального и т. п.— метода научного познания мира.

Но предельная степень абстракции в философских категориях, как известно, делает их больше, чем методологическими принци-

нами научного исследования — категориями познания, человеческого мышления, категориями гносеологии, логики. Интересующие же нас понятия не достигли такой степени абстрагирования, не стали необходимыми элементами человеческого мышления, познания вообще; они в значительной мере сохранили черты специально-научного мышления.

Важный признак, по которому также различаются категории философии и специальных наук,— *степень их использования* в общественной практике, в деятельности людей. Понятия специальных наук по этому признаку делятся на две основные группы. Те из них, названия которых этимологически были заимствованы из общеупотребительной лексики, используются очень часто (например, в физике — сила, скорость, масса, в биологии — жизнь, животное, растение). Но большинство специальных понятий сугубо научного происхождения, употребляются в практической деятельности крайне редко (таковы, например, ген, мутация, популяция — в биологии; квант, плазма, синхрофазотрон — в физике; аксиома, теорема, квантор — в математике и логике). Философские категории, будучи всеобщими категориями познания, употребляются буквально на каждому шагу, хотя люди нередко вкладывают в них более узкий смысл применительно к той или иной ситуации. К таким общеупотребительным категориям можно отнести следующие категории: движение, пространство и время, количество и качество, форма и содержание, причина и следствие, необходимость и случайность, *возможность и действительность*, *единичное*, *особенное* и всеобщее.

Категории «система» и «элемент», «структура» и «функция», «модель», «информация» в этом отношении приближаются к философским: они вошли в практику человеческого общества. Однако и они употребляются в различных значениях в зависимости от ситуации и уровня знаний исследователя.

Широкое употребление научных категорий в практике всегда имеет и значение обратной связи, направленной к самой науке. Импульс от потребностей общечеловеческой практики не может не играть решающей роли и в становлении категорий, рассматриваемых нами.

Обсуждая возможность отнесения какой-либо категории к разряду философских, следует ответить на вопрос: не тождественно ли данное понятие одной из имеющихся уже философских категорий? Исследование понятий указанной группы убеждает в их качественной специфике, в невозможности отождествления любого из них с известными философскими категориями (даже в тех случаях, когда между ними имеется значительная близость). Так, понятия системы и элемента не тождественны категориям целого и части; понятие информации не дублирует содержания категорий «сознание», «отражение», «разнообразие» и др.

Наконец, еще один признак философских категорий: в отличие от категорий частных наук они «вырабатываются для решения

проблем, составляющих предмет философии на данном уровне развития научного знания» [Копнин П. В., 1965, с. 45]. Дискуссия последних лет вокруг определения предмета философии показала, что понимание марксистской философии как науки о наиболее общих законах развития природы, общества и познания актуально и в наши дни [1]. В исследовании наиболее общих законов развития категории системы, элемента, структуры, функции, модели, информации и т. п. сейчас уже играют существенную роль.

В настоящее время категории этой группы занимают промежуточное, переходное положение между категориями частных наук и философии, имея признаки как сходства, так и различия с каждым из этих типов. Поэтому, не считая правильным отнесение их к философским категориям, в то же время нельзя признать исчерпывающим и достаточным для современной науки распространенный взгляд на них как на частнонаучные понятия. Зародившись в отдельных специальных дисциплинах и оформившись в кибернетике, такие категории сейчас уже далеко вышли за рамки отдельных наук.

Конечно, соотношение частнонаучных и философских признаков, определяющее в конечном счете научный статус категории, в каждом из этих понятий различно. Поэтому одни из них больше продвинулись по пути превращения в категории диалектики, другие — меньше (и в этом, очевидно, объективная основа того, что одни признаются философскими категориями чаще, другие — реже). Но для всей этой группы понятий характерны два основных общих свойства. Во-первых, каждое из них вышло за рамки отдельной частной науки (и даже нескольких таких дисциплин); одни приобрели более широкое [2], а некоторые из них и общенаучное значение. Во-вторых, каждая такая категория выступает основой особого, специфического метода, нового подхода к научному познанию разнокачественных явлений действительности. Эти два свойства принципиально отличают их от категорий частных наук; в то же время по ряду других признаков они не могут считаться философскими. Появление таких категорий заставляет пересмотреть традиционное дихотомическое деление всех научных категорий. Видимо, целесообразно выделить категории, о которых идет речь, в отдельный, принципиально новый тип. Их можно определить как общенаучные.

[1] См.: Коммунистическая партийность — важнейший принцип марксистско-ленинской философии.— «Коммунист», 1970, № 3, с. 69.

[2] Научные дисциплины, понятия и методы которых применимы в ряде наук, Ахундов М. Д., Борисов В. И. и Тюхтин В. С. [1973] называют интегративными.

Общенаучные категории и их эвристическая функция в науке

Термин «общенаучная категория» («общенаучное понятие») употребляется рядом авторов, однако нет еще однозначного понимания, и обычно этот термин не обозначает особого, принципиально нового типа категорий. Иногда такие категории отождествляются с философскими; при этом термин «общенаучная категория» понимается просто как один из синонимов к терминам «философская категория», «категория диалектики», «гносеологическая категория». Целесообразнее, конечно, отличать общенаучные категории от философских, как это делает А. Д. Урсул, говоря, например, о предпосылках «превращения понятия информации из общенаучного, каким оно уже сейчас стало, в философскую категорию. В подобном положении находятся и такие понятия, как система, структура, симметрия, асимметрия и ряд других» [1968, с. 285]. Против отождествления общенаучных и философских понятий выступают также В. И. Свидерский и Р. А. Зобов, приводя в качестве примеров понятий первого типа изоморфизм, энергию, симметрию и асимметрию [1970, с. 49].

К немногочисленным пока попыткам специального исследования сущности и особенностей общенаучных категорий относится работа И. Я. Лойфмана [1967, с. 127—131], в которой эти понятия обоснованно рассматриваются как особый, переходный тип между частнонаучными и философскими категориями. Вызывает, однако, возражение тот факт, что при этом сфера действия общенаучных категорий ограничивается исследованием только природы (об этом автор говорит неоднократно), в связи с чем это понятие отождествляется с предложенным в свое время М. Н. Руткевичем понятием категорий диалектики природы. Об этой ограниченности понимания сферы функционирования общенаучных категорий свидетельствуют и все приводимые И. Я. Лойфманом примеры таких категорий: индивид (индивидуальный объект) — среда, притяжение — отталкивание, обратимость — необратимость, регулярность — отклонение, функциональность — причинность (в природе). По нашему мнению, категории, применимые только к явлениям природы, но не работающие продуктивно в науках об обществе и познании, уже в силу этого необоснованно называть общенаучными. Ведь в отличие от многих западных исследователей, для которых понятие «наука» («science») является синонимом понятия «естествознание», в марксистской философии объем понятия «наука» включает в себя совокупность всех отраслей знания об объективном и субъективном. Поэтому гораздо логичнее относить к общенаучным такие категории, как структура, система, элемент, функция, модель, информация, сфера применения которых охватывает науки не только о природе, но и об обществе и познании.

Как было сказано, важнейшим свойством категорий этого типа (кроме их общенаучного характера) является то, что каждая из

них выступает основой какого-то нового метода исследования разнокачественных явлений, особого подхода к познанию мира. В этом проявляется эвристическая функция общенаучных категорий. Из числа таких новых методов, специфических подходов к изучению различных сторон действительности широко признаны уже системный, структурный, функциональный подходы, моделирование. Гораздо меньше внимания уделяется пока информационному подходу и методу. В наши дни информационный подход постепенно занимает свое особое место в ряду других общенаучных подходов и методов [см.: Семенюк Э. П., 1970]. Его использование в науках о неживой природе (физике, химии, геологии и т. п.), на наш взгляд, не противоречит функциональному, неатрибутивному пониманию самого феномена информации: нетрудно убедиться, что при этом всегда неявно вводится субъект познания, хотя и в замаскированном виде.

Возникновение новых подходов в познании мира не представляет собой чего-то исключительного, беспрецедентного в развитии науки и гносеологии в целом. Говоря о противоположности диалектического и метафизического подходов к человеческому познанию, В. И. Ленин охарактеризовал диалектику как «*живое*, многостороннее (при вечно увеличивающемся числе сторон) познание с бездной оттенков всякого подхода, приближения к действительности...» (Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 321). Вклад в эту бездну оттенков, сторон, граней человеческого познания вносят общенаучные категории — своей способностью рождать новые общенаучные методы исследования, новые подходы к познанию.

Следует сказать, что понятия высокой степени общности, выступающие основой новых подходов к познанию действительности, возникали в науке и прежде. Вспомним, например, роль понятия абсолютности в классической механике, понятия относительности — в теории Эйнштейна. Однако такие категории все же не становились общенаучными, сфера их употребления ограничивалась одной или несколькими научными дисциплинами. А в силу этого и основанные на них подходы к познанию носили локальный (в лучшем случае — региональный) характер и принципиально не могли стать общенаучными. Другими словами, эвристическая функция этих категорий была качественно иной. Пожалуй, из всех специальных понятий, выработанных наукой прошлых столетий, ближе других к общенаучным стоит понятие энергии, послужившее, как известно, основой довольно широкого энергетического подхода к различным явлениям (недаром в наши дни очень популярна аналогия между категориями энергии и информации). Но нетрудно заметить, что и в данном случае нельзя говорить об эффекте общенаучности в полном смысле слова: применение понятия энергии и основанного на нем подхода ограничено рамками естествознания и техники; в области гуманитарных наук роль этой категории крайне незначительна.

Таким образом, можно сделать вывод, что возникновение общенаучных (без всяких оговорок) категорий и базирующихся на них методов исследования, общенаучных подходов к познанию *действительности — специфическая особенность* современного состояния науки. Очевидно, это явление органически связано с усиливающейся тенденцией интеграции научного знания (возникновение и быстрое развитие кибернетики, как известно, во многом обязано именно этой тенденции).

Способность продуцировать *общенаучные категории не является*, по-видимому, специфической особенностью лишь кибернетики. К разряду общенаучных все чаще относят (и, на наш взгляд, с достаточным основанием) ряд категорий математического происхождения — симметрию и асимметрию, вероятность и др. Очевидно, уже в наши дни перечень таких категорий (и продуцирующих их *научных дисциплин) можно увеличить; тем более есть основания* предполагать, что он будет расти в ходе дальнейшего развития науки. Вместе с тем следует отметить, что далеко не все важнейшие понятия кибернетики проявили потенциальную способность к перерастанию в общенаучные категории. Многие из них по своему содержанию и функциям остаются в рамках сугубо кибернетической проблематики (это, например, сигнал, обратная связь, гомеостаз, гомеостат, оптимизация, самообучение, «черный ящик»). Нетрудно показать, что в свете рассмотренных выше критериев подобные понятия являются специальными, частнонаучными. Даже центральная кибернетическая категория — управление — в лучшем случае носит региональный характер (учитывая ее быстро возрастающую продуктивность в науках социологического комплекса), но не общенаучный. Тем более важно привлечь внимание исследователей к специфике *общенаучных категорий и основанных на* них подходов к познанию действительности.

Изучение общенаучных категорий особо важно для философии еще *в одном отношении. Вероятной перспективой дальнейшего развития этих понятий*, на наш взгляд, может быть постепенное превращение их в категории философии в результате повышения степени абстрагирования и элиминации признаков частнонаучных понятий. Для некоторых категорий (таких, как информация) эта тенденция наметилась уже сейчас [см.: Урсул А. Д., 1971, с. 278—284; Семенюк Э. П., 1971]. *Очевидно, нельзя исключать* и возможности обратной трансформации — перехода отдельных общенаучные категорий (и даже философских) в специальные, частнонаучные — в силу постепенной утраты ими специфических особенностей двух первых типов. Критерии, на основании которых можно было бы прогнозировать возможное развитие *той или иной* категории, еще предстоит выявить (напомним, что сама эта проблема возникла совсем недавно и, конечно, нуждается в глубоком *изучении). Но уже сегодня очевидно, что в целом вероятностная* экстраполяция на будущее наметившейся сейчас динамики развития общенаучных категорий приводит к другой, очень актуальной

в наше время проблеме — проблеме конкретизации, обновления, обогащения категориального аппарата диалектики. Система категорий философии должна развиваться, пополняться новыми элементами, чтобы всегда соответствовать уровню научного знания и новым задачам общественной практики.

Особая роль общенаучных категорий в обогащении арсенала категорий диалектики, на наш взгляд, логически вытекает из их переходного характера, промежуточного положения между категориями частных наук и философии. Ведь в силу этого они выступают важным связующим звеном, своеобразным «мостиком» между философским и специальным знанием. Это проявляется в том, что, будучи уже общенаучными, универсальными по сфере употребления, такие категории одновременно продолжают оставаться центральными, незаменимыми понятиями отдельных частных наук. Так, категория системы лежит в самом фундаменте общей теории систем (системологии) и системотехники. Существование информатики (*теории научной информации*) немыслимо без категории информации, на которой базируются все основные понятия этой молодой дисциплины (научная информация, носитель информации, информационная потребность, информационный поток и др.). В подобных случаях общенаучные категории прямо, непосредственно входят в категориальный аппарат отдельных специальных наук как его важнейшие компоненты.

Естественно предположить, что именно общенаучные категории в силу своего промежуточного, переходного характера имеют в первую очередь предпосылки для перерастания в категории диалектики. В. С. Готт и А. Д. Урсул [1971] оправданно видят в этой тенденции развития категорий, подобных информации, системе, структуре и др., важный аспект взаимосвязи философии с естествознанием. Добавим лишь, что не только с естествознанием, но и с социологией, с гуманитарными и техническими науками, одним словом — со всей совокупностью специальных отраслей знания.

Что же нового обещает обогащение категориального аппарата диалектики понятиями, достигшими уже статуса общенаучности? Основную функцию новых, формирующихся философских категорий в общей системе категорий диалектики, на наш взгляд, можно определить как конкретизацию и одновременно модифицирование отношений, фиксируемых традиционными категориями. При этом на первый план выдвигаются не замеченные (или не исследованные) ранее аспекты этих отношений, специфические, но важные нюансы их, происходит сдвиг гносеологических акцентов. Так, через призму категорий структуры, системы и элемента по-новому преломляются отношения, фиксируемые категориями целого и части, *общего, особенного и единичного*; категории структуры и функции под новым углом зрения освещают единство формы и содержания и т. п.

Важно подчеркнуть неоднозначность, поливариантность этой трансформации ранее известных отношений в новых, формирую-

щихся категориях. Понятие информации, к примеру, с разных сторон конкретизирует категории отражения, сознания, различия (разнообразия), причины и др. Возможным аспектом такой конкретизации выступает ограничение объема традиционной категории, чаще всего в сочетании с логическим ударением на тех сторонах, отношениях, связях, которые ранее не замечались или казались несущественными. Необходимо отметить также имманентную связь формирующихся категорий не только с устоявшимися уже категориями диалектики, но и между собой (в ряде работ, например, показана связь информации с системой, структурой, функцией, моделью, вероятностью и т. п.).

Итак, общенаучные категории — принципиально новый и очень своеобразный тип понятий, выдвинутый современным развитием науки (и в первую очередь — кибернетики).

Литература

Адров В. М. О некоторых философских аспектах понятия информации.— «Ученые записки Астраханского гос. пед. ин-та. Вопросы истории и философии», т. XI, вып. 1. 1967.

Ахундов М. Д., Борисов В. И., Тюхтин В. С. Интегративные науки и системные исследования.— В кн.: Синтез современного научного знания. М., 1973.

Готт В. С., Урсул А. Д. О некоторых аспектах взаимосвязи философии и естествознания.— «Философские науки», 1971, № 4.

Жуков Н. И. Информация, изд. 2 Минск, 1971.

Карандеев К. Б., Рабинович В. И., Цапенко М. П. К определению понятия измерения.— «Измерительная техника», 1961, № 12.

Коппин П. В. Развитие познания как изменение категорий.— «Вопросы философии», 1965, № 11.

Коппин П. В. Логические основы науки. Киев, 1968.

Курчиков Л. Н. Познание и неопределенность. Киев, 1970.

Лойфман И. Я. О некоторых категориях научного познания.— В кн.: Ленинская теория отражения и современность Свердловск, 1967.

Свидерский В. И., Зобов Р. А. Новые философские аспекты элементно-структурных отношений. Л., 1970.

Семенюк Э. П. Философские проблемы информационного подхода к научному познанию. (Канд. дисс.) Львов, 1970.

Семенюк Э. П. Информация как общенаучная категория и вопрос о ее превращении в категорию философии.— В сб.: Проблемы філософії, вып. 19, Київ, 1971.

Тюхтин В. С. Системно-структурный подход и специфика философского знания.— «Вопросы философии», 1968, № 11.

Украинцев Б. С. Информация и отражение.— «Вопросы философии», 1963, № 2.

Урсул А. Д. Негэнтропийный принцип информации и научное познание.— «Вопросы философии», 1967, № 11.

Урсул А. Д. Природа информации. М., 1968.

Урсул А. Д. Информация. М., 1971.

Шовкопляс В. А. Ленинская теория отражения — философская основа кибернетики. (Автореф. канд. дисс.) Киев, 1964.

ИДЕИ ОРГАНИЗАЦИИ И УПРАВЛЕНИЯ В ИССЛЕДОВАНИИ СЛОЖНЫХ СИСТЕМ

Н. Т. Абрамова

Возрастание интереса к проблемам организации и управления связано в современной науке с происходящим ныне значительным расширением и преобразованием ее методологического арсенала. Одним из ведущих направлений методологии научного познания является исследование теоретического воспроизведения целостности объектов с помощью представления об организации и управлении. Рассмотрение того, как происходит становление и проникновение этих понятий в современное научное знание, почему понятиям организации и управления придается такое значение, поможет раскрыть некоторые особенности познавательного процесса при изучении сложноорганизованных систем.

Об эволюции идей организации и управления

Постановка проблем организации и управления в научном познании не является специфической именно для современности. И ранее они получали определенное истолкование в философии и естествознании. В развитии идей об управлении можно выделить три относительно самостоятельные тенденции, в рамках которых оно получало свое выражение: при изучении живых организмов, хотя сам термин «управление» применительно к таким процессам не использовался (И. М. Сеченов, И. П. Павлов); в ходе становления теории автоматического управления; и, наконец, при изучении социальных явлений. Точно так же идеи организации прошли длительный путь, начинающийся от атомизма древних.

Каково отношение между ранее существовавшими подходами к этим проблемам и современным их решением?

Та серьезная разработка этих проблем, основа которой в философии заложена Аристотелем, Шеллингом, Гегелем, в трудах основоположников марксистско-ленинского учения, а в естествознании — классическим атомизмом, характеризуется на современном этапе качественно новым подходом. Новизна этого подхода обусловлена кибернетическим ви́дением сложной системы, в силу чего назовем условно современный подход кибернетическим в его отличие от прежнего — докибернетического. В докибернетический период изучение организации и управления находилось на уровне эмпирических, описательных констатаций. Формулировка идей осуществляется на базе тех признаков, которые являются существенными лишь для каких-то частных явлений. Однако выявленные признаки не выступают в качестве существенных для целого класса или нескольких классов явлений.

Хорошо известно то существенное преобразование в стиле

научного мышления, которое связано с появлением кибернетики в конце 40-х годов нашего века. Это воздействие кибернетики на мышление вызвано разработкой новых обобщенных приемов и принципов исследования организации материальных систем. Информационная теория управления привела к развитию философских представлений об управлении, целенаправленности, организации сложных динамических систем, что в свою очередь обусловило новые направления исследований, связанные с изучением процессов управления в различных областях действительности.

При переходе ко второму, кибернетическому этапу признание того или иного явления в качестве объекта исследования с позиций идей организации и управления выступает по-особому, по мере того как расширяется сфера объектов (классов систем), внутри которой это явление определяется. В результате осуществляется перенос существенного признака (организации и управления) с частного явления на их множество, когда обнаруженные признаки оказываются присущими целому классу явлений. «Организационный» и «управленческий» способы ви́дения стали охватывать многие сложнодинамические системы. Отсюда следует, что чем более широкий круг явлений материального мира может быть описан и объяснен с помощью данных идей, тем к более высокому уровню обобщений их (идеи) следует отнести.

Таким образом, несмотря на то что представление об управлении имеет достаточно длительную историю, есть все основания говорить о кибернетической теории управления, основные положения которой были сформулированы Н. Винером, как о принципиально новой теории. Н. Винер и другие создатели кибернетики, распространив идеи и принципы теории управления на качественно различные объекты, причастны к созданию нового типа ви́дения сложных систем. Эта ориентация на изучение управления и организации в различных системах, несмотря на то что они могут существенно различаться по уровню организации, составляет существенный элемент господствующего ныне стиля мышления.

Понятие организации приобрело статус общенаучной категории в связи с изучением принципов строения сложных динамических систем и законов их функционирования. Концепция организации впитала в себя идеи дискретности, структурированности, представления об относительной автономности отдельных подсистем и их целостности. Процесс становления понятия организации на современном этапе заключается не только в приращении некоторого нового знания к прежним определениям понятия, к выявлению новых сторон и аспектов. Развитие кибернетики, общей теории систем, системотехники, исследования операций явилось началом изучения общих принципов организации. Правда, в настоящее время лишь в некоторых областях знания удалось прийти к известным обобщениям.

Представления об организации были существенно дополнены и расширены применительно к системам различных ступеней слож-

ности вплоть до социальных систем за счет идеи об изоморфности систем и системных параметров. Введение в учение об организации идеи изоморфизма структур и функций имеет существенное значение потому, что оно намечает программу описания качественно различных систем одними и теми же математическими моделями. Это позволяет проанализировать абстрактно-обобщенные переменные этих систем. Изоморфными являются те системы, для которых устанавливается взаимооднозначное соответствие между элементами и отношениями одной и элементами и отношениями другой системы. Таким образом, новый этап в изучении проблем организации выразился в использовании принципа математического изоморфизма, в изменении формы обоснования природы организации.

Тенденция анализировать качественно различные объекты с точки зрения идей организации и управления является выражением иной методологической роли этих идей в структуре научного знания. Особенность нового этапа развития понятия управления заключается в ином типе использования этих понятий. Они дают возможность понять объект как сложную систему, т. е. описать ее с точки зрения специфических отношений ее внутренних элементов и отношений с другими системами. Эти отношения интерпретируются через понятия «вход — выход», «обратная связь», «иерархия подсистем различных уровней сложности» и т. п. Идеи и методы теории управления оказалось возможным распространить на качественно различные системы вне зависимости от их конструкции и физической природы, поскольку они выступили в качестве общего метода исследования. Это дает возможность выявить существенную общность качественно различных объектов, в связи с чем возрастает роль философского анализа в соответствующих областях знания.

Из сказанного о развитии представлений об организации и управлении следует, что само познание имеет ряд уровней (по крайней мере, два), каждому из которых соответствует различная степень проникновения этих идей во внутритеоретический контекст научного знания. Специфика первого, докибернетического этапа определяется не тем, что при первоначальном формулировании идеи организации и управления не были включены в концептуальный аппарат, с помощью которого осознается структура объектов, а тем, что этот концептуальный аппарат мог быть применен к достаточно ограниченному кругу исследовательских задач. Между тем понятийные рамки, в которых стала осознаваться структура сложных систем в кибернетический период, значительно расширились, и, что особенно важно подчеркнуть, «организационно-управленческое» мышление стало главным ориентиром в познании любых самоуправляемых систем.

Таким образом, несмотря на известную созвучность некоторых идей классиков философии и естествознания прошлого по вопросу об организации и управлении с современными идеями, можно говорить о качественно новом этапе в развитии этих концепций, со-

стоящем, в частности, также и в том, что концептуальный аппарат этих теорий расширяется за счет введения таких понятий, как структура, система, иерархия уровней, автономность элементов и подсистем, энтропия и пр. Новые понятия, будучи элементами концепции об организации и управлении, вызывают существенные изменения последней. Разработка более обобщенных представлений является вместе с тем формированием тех основ, на базе которых *осуществляется синтез новой разнообразной информации* об организации и управлении.

Некоторые исходные идеи теории управления

Современная наука об управлении стала объектом исследования различных быстро прогрессирующих дисциплин — теории автоматического управления, биокибернетики, теории организационного или административного управления и пр. Внутри самих конкретных наук существуют определенные направления и виды исследования, специализирующиеся на анализе исходного математического аппарата систем управления, специфических объектов управления, *способов и методов передачи и переработки информации*. Помимо этого существует кибернетическое направление исследования процессов управления, которое претендует на разработку единых основ управления, общих для машин, живых организмов и общества. Кибернетика усматривает одну из своих целей в демонстрации общих принципов управления.

Столь многообразное исследование управления в рамках различных научных направлений является специфическим для второй половины XX века. Этот растущий интерес к проблемам управления неизбежно связан с пониманием сложности многоуровневых систем, которыми оперирует современное познание, с необходимостью уточнения взаимосвязей и «согласованного» действия различных звеньев иерархии в пределах сверхсложных систем.

В современной системе научного знания теоретические основы управления наиболее широко и систематически представлены в технических науках. Здесь имеются фундаментальные результаты, обобщенные в теорию систем автоматического регулирования. Построение общей теории управления связано с разработкой достаточно обобщенного (абстрактного) языка, с поисками унифицированных методик исследования. В настоящее время известно несколько вариантов таких теорий, использующих различные уровни абстракции. Наиболее известны из них общая теория управления Р. Калмана, аксиоматическая теория управления Э. Роксина, теория управляющей системы А. А. Ляпунова и С. В. Яблонского, информационная теория управления Б. Н. Петрова.

Существует чрезвычайно большое разнообразие автоматических систем, выполняющих те или иные функции по управлению самыми различными физическими процессами во всех областях

техники. В этих системах сочетаются весьма разнообразные по конструкции механические, электрические и другие устройства, составляя в общем сложный комплекс взаимодействующих друг с другом звеньев.

Все системы автоматического регулирования принято разделять на два класса: это, во-первых, автоматы, выполняющие определенного рода одноразовые или многоразовые операции, и, во-вторых, *автоматические системы, которые в* течение достаточно длительного времени нужным образом изменяют (или поддерживают) какие-то физические величины (координаты движения объекта, скорость движения, электрическое напряжение, частоту, температуру, давление и пр.) в том или ином управляемом процессе. Характер воздействия, как мы видим, является функцией времени.

Особый класс составляют системы управления организационного или административного типа, предназначенные для управления объектами экономической природы. Существуют автоматизированные системы управления предприятиями, АСУ отраслей. Они отличаются от АСУ технологическими процессами. По словам В. М. Глушкова, «в системах организационного управления приказы на использование машин, как правило, передаются людям, а не непосредственно машинам. Другое отличие — это форма передачи информации. Если в системах управления технологическими процессами основная форма передачи информации — различного рода сигналы, то в системах организационного управления основная форма передачи информации — документ» [1972, с. 70].

В *решениях XXV съезда* КПСС *признано* необходимым «обеспечить дальнейшее развитие и повышение эффективности автоматизированных систем управления и вычислительных центров, последовательно объединяя их в единую общегосударственную систему сбора и обработки информации для учета, планирования и управления». [Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы. М., 1976, с. 20.]

Характерной особенностью кибернетического понимания управления, обусловливающего значимость его методологического анализа, *является то, что оно возникло в результате* попыток теоретической интерпретации новых эмпирических данных в различных областях знания — в автоматике, биокибернетике, нейрофизиологии, социологии и др. Поэтому кибернетическая теория управления приобрела статус междисциплинарной теоретической концепции, синтезирующей знание из различных областей действительности. Для того чтобы увидеть, каковы критерии обобщенного содержания управления, целесообразно обратиться к тому решению, которое проблема управления получила в кибернетике.

В качестве *одного из исходных* понятий теории управления обычно рассматривается понятие информации. Управление есть переработка информации в сигналы, направляющие деятельность машин и организмов. В статистико-вероятностной теории информации К. Шеннона ставилась задача измерения сообщений, пере-

даваемых по техническим каналам связи. Статистическая теория информации отвлекается от содержания, ценности, теоретико-познавательного значения информации. Основная идея статистической теории информации состоит в том, что информация возникает, производится в результате ограничения какого-то разнообразия посредством выбора из множества элементов («сообщений»). В этом смысле производство информации есть превращение в действительность одной (или нескольких) возможностей из множества других [Шеннон К., 1963, с. 244, 246].

Система, рассматриваемая с точки зрения способности воспринимать, хранить, использовать и передавать информацию, выступает либо в качестве системы связи, либо канала связи. Информация, которая содержится в сигналах, может быть использована для управления. «Управляющая система,— пишет В. М. Глушков,— это модель устройства, которая определяет и осуществляет упорядоченную передачу информации 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.» [Глушков В. М., 1964, с. 5].

Таким образом, управление любой динамической системой органически связано с информацией, течением информационных процессов. Циркулирование информации между компонентами системы, между системой и окружающей средой, является непременным атрибутом управления. Весьма существенно то обстоятельство, что физический характер сигналов может быть самым различным: это могут быть нервные импульсы, радиоволны, слово человека и т. д. Однако независимо от того, какова природа сигналов, при кибернетическом подходе сумели выделить общий существенный *признак — то, что сигнал является носителем информации*, закодированной в той или иной форме. Таким образом, информационный подход к управлению связан с созданием такого обобщенного приема исследования, который не «привязан» к какому-то определенному классу систем. Если ранее управление было достаточно жестко связано с автоматическими системами и ограничивалось рамками их анализа, то теперь понятие управления применяют для изучения и биологических и социальных явлений, и пр.

То же самое можно сказать и о другом центральном понятии *теории управления* — понятии обратной связи. Своеобразие и ценность кибернетического подхода к управлению заключается в том, что в нем применяется общий принцип обратной связи. Система, переменные которой влияют друг на друга посредством одной или нескольких замкнутых цепей, обладают, как говорят в радиотехнике, обратной связью. Обратная связь в наиболее общей форме — это механизм учета в поведении разницы между целью действия и его результатом. Н. Винер характеризует обратную связь как «свойство, позволяющее регулировать будущее поведение прошлым выполнением приказов» [Винер Н., 1958, с. 45].

Во всех случаях изучения обратных связей исходят из некоторой универсальной методологической модели, которая, хотя и может быть модифицирована применительно к конкретному классу систем, тем не менее формулируется как некоторое правило для изучения любой самоуправляемой системы, безотносительно к уровню ее организации. Исследование подобных обобщенных приемов исследования в современной науке и составляет, на наш взгляд, одну из задач философов, занимающихся философскими проблемами естествознания.

Изучение форм, в которых предстает обратная связь, показало существенную общность ее структуры в различных системах. Эту особенность структуры обратной связи Л. Берталанфи определил как машиноподобность [Берталанфи Л., 1969, с. 67]. Суть этого замечания сводится к тому, что на механизме обратной связи лежит отпечаток известной стереотипности, фиксированной последовательности. Действие обратной связи основано на фиксированном порядке функционирования круговых линейных причинных цепей. Изучая особенности гомеостатических процессов, можно наблюдать, что способы, посредством которых происходит устранение рассогласования, являются такими же неизменными, как и сами причины, вызывающие изменения заданных величин. Механизм обратной связи, выступающий в виде структурированной последовательности определенных процессов, предопределен спецификой того параметра, значение которого поддерживается на определенном уровне, а поэтому каждый из механизмов заранее фиксирован.

На основании факта существенной изоморфности различных видов обратной связи их принято описывать одними и теми же математическими выражениями. Используя изоморфность обратных связей, производят моделирование сложных систем. Эвристическое определение обратных связей позволяет делать полезные выводы о возможном поведении системы на основании известных данных, полученных от другой системы, к которым применены те же принципы [Хэммонд П., 1969, с. 15].

Высокоорганизованная система обладает сложной пирамидой обратных связей, в которой обычно одни замкнутые контуры управления входят в другие замкнутые контуры, воздействующие на управляемую переменную. Попытки представить биологическую систему в виде системы «вход — выход» может привести к модели, которая будет применима лишь к узкому диапазону условий. Промежуточное звено между входом и выходом составляет «черный ящик», включающий в себя сложную сеть замкнутых контуров обратных связей. Любой реальный биологический процесс слагается из множества стадий, которые могут сходиться и расходиться, или идти параллельно друг другу, содержать сеть положительных и отрицательных обратных связей. Иными словами, действительный процесс управления в его реальной сложности выступает как поток, состоящий из множества сложно взаимодействующих замкнутых контуров.

Вместе с тем особенность сложноорганизованных систем, например биосистем, заключается не только в сложной взаимосвязи и переплетении различных замкнутых контуров управления, но и в относительной самостоятельности функционирования по отношению к входным сигналам. Вход и выход связаны между собой неоднозначно. Работа нервной системы, например, построена так, что ее отдельные звенья, передающие сигналы, являются не *просто преобразователями входного сигнала в выходной, а сами по* себе способны к автоматической активности, форма которой определяется их собственными свойствами и не зависит от входного сигнала. *Входной сигнал — это информация о необходимости* изменения системы. После того как эти изменения возникли, они значительно отличаются от побуждающей их причины как по характеру, так и по силе. Управление выступает как мобилизация внутренних возможностей. За счет внутренних резервов осуществляется реализация заданного состояния, и именно в этом смысле можно говорить об управлении как о проявлении внутренней активности.

В утверждении тезиса о своеобразных типах управления в различных сферах действительности отображается, на наш взгляд, специфика теоретико-познавательной ситуации в изучении проблем управления. Речь идет о понимании недостаточности лишь общих принципов управления для характеристики ее отдельных разновидностей. Так, при первоначальном применении исходных понятий теории управления к объектам биологического уровня познания существенную роль сыграл анализ простейших систем управления. Хотя физиологи уже со времен Клода Бернара поняли, что организм представляет собой совокупность сложных взаимосвязанных биологических регуляторов, мысль об использовании теории автоматического регулирования для изучения биологических систем возникла совсем недавно. Такой подход способствует более глубокому пониманию регуляторных механизмов, действующих в организме.

Однако методология теории автоматического регулирования — выделение конечного и небольшого числа регулируемых параметров, фиксированность связей между параметрами и т. д.— хорошо приспособлена для изучения лишь наиболее простых автоматических систем («классическая теория регулирования»). Существующая теория автоматического регулирования является в основном теорией линейных систем, а почти все биологические и тем более социальные системы существенно нелинейны. Поэтому арсенал средств «классической» теории регулирования, тот теоретический аппарат, которым располагают на сегодняшний день, недостаточен для исследования биологических или каких-либо иных систем [Розоноэр Л. И., 1966, с. 6].

Высказанные соображения о том, что кибернетическая теория управления, т. е. наука об общих закономерностях строения и функционирования сложноорганизованных систем, не может быть средством для решения всех аспектов управления, свидетельствует

о нарастающем стремлении к анализу особых критериев управления в различных областях действительности. По-видимому, «по мере исследования математиками, психологами и инженерами крупных систем (живых и неживых) разной степени сложности мысль об универсальном использовании какой-то одной кибернетической теории становится все менее и менее правдоподобной» [Беллман Р., 1967, с. 179].

Можно предположить, что в последующем развитии представлений об управлении в конкретных областях знания будут созданы специфические модели, которые будут выходить за рамки нынешней теории автоматического регулирования. Научный прогресс в этой области будет связан, по-видимому, с созданием теоретического аппарата для специфических (и притом различных) классов систем управления. Этот переход будет происходить не только путем трансформации представлений об управлении, но и путем радикальных преобразований и дополнений. Все эти соображения заставляют ставить вопрос об уточнении содержания представлений об управлении как методе исследования сложноорганизованных систем различных классов.

Методологический аспект проблемы управления обязательно затрагивает также проблемы цели, целесообразности.

Предыдущий анализ показал, что именно благодаря управлению система способна осуществлять целесообразное взаимодействие с окружающей средой, координировать и субординировать отношения собственных компонентов, направлять их движение, равно как и собственное движение, к заранее запрограмированной цели. В результате самоуправляемая система способна сохранять целостность и качественную определенность. Проблема управления связана, таким образом, прежде всего с процессами, направленными на достижение эффективных, оптимальных способов поведения соответствующих систем. Тем самым в теоретические концепции управления включается понятие цели и эффективных действий, направленных на ее осуществление.

Исследования специфики самоуправляемых систем показали необходимость целевого подхода. Такие понятия, как адаптация, эволюция, гомеостаз и другие, выражают цели в поведении системы. Связывая, таким образом, цель с заданными параметрами, важно учитывать следующее: целенаправленный (телеономический) процесс в современном его понимании отнюдь не соответствует «цели» в традиционном для идеалистической философии понимании. Разработка кибернетического представления о цели на базе учения об управлении — одна из важнейших задач кибернетической науки. Ее разрешение должно привести к формулировке ряда важнейших общих закономерностей целенаправленной деятельности, которые обсуждаются в разных областях современного естествознания.

Как это следует из теории систем автоматического регулирования, по мере развития систем автоматического регулирования

происходит усовершенствование способов настройки системы, а отсюда и изменение постановки цели регулирования. Первый скачок связан с переходом от заданных способов настройки в обычных системах автоматического регулирования к самонастраивающимся, где система сама ищет наивыгоднейшую программу для получения экстремального результата. Самый высокий уровень регулирования представлен адаптивными системами. Если при обычной самонастройке меняются лишь отдельные параметры регулятора, то при целесообразной самонастройке меняется вся динамическая структура регулятора. Иными словами, многие параметры регулирования имеют вероятностный характер, что и определяет множественность способов реализации цели, возможности оптимального регулирования [Бесекерский В. А., Попов Е. П., 1972].

Итак, в ходе развития основных идей и принципов теории автоматического регулирования понятие цели закономерно вошло в само определение управляющей системы, в определение закона регулирования. Это оказалось возможным в связи с объективацией понятия цели, его расширительным толкованием. Традиции в изучении проблемы цели и целесообразности, как мы знаем, связаны с биологической наукой. Наука прошлого была не в состоянии решить до конца эту проблему своими средствами и отдавала ее обоснование своему идеологическому противнику — телеологии. В наше время этот «захваченный плацдарм» отвоевала кибернетика и здесь уже получены существенные результаты. Исследование функционирования самоуправляемых систем позволило более широко взглянуть на категорию «цели», очистить от антропоморфных наслоений и разумно объективировать ее, распространив на те сферы несознательного функционирования, где существует направленность к достижению определенного эффекта. Другими словами, категории «цель» и «целенаправленность» стали выражать объективные связи, отношения, процессы, которые существуют не только в сфере сознания.

При обсуждении кибернетического понятия цели высказывается мнение о *недостаточности одного принципа обратной связи для* характеристики особой формы направленного взаимодействия в процессе целеполагания. Б. С. Украинцев предлагает дополнить это определение, включив в него представления о других сторонах и принципах процесса управления [Украинцев Б. С., 1972, с. 145].

Из всего сказанного о современном понимании цели вытекает, что одна из особенностей нынешнего этапа в познании проблемы цели, целенаправленности состоит в особой роли целевого подхода в изучении сложных систем. Целевой подход, будучи элементом кибернетического взгляда на организацию, выполняет функцию своеобразного ориентира при исследовании любых самоуправляемых систем. Обобщенное понимание цели выступает, таким образом, в качестве одной из главных теоретико-познавательных предпосылок построения теории систем в различных сферах знания.

Понятие организации в системе научного знания

В классической науке термин «организация», «строение» был равнозначен с атомизмом, а основополагающие части последнего — молекулярно-кинетическая теория в физике, классическая теория химического строения — выступали в качестве основных самых глубоких представлений о структурной организации материи. Важной особенностью современного этапа познания является коренное преобразование исходных принципов классического атомизма. Подобные изменения произошли прежде всего в связи с изучением квантовых явлений. В частности, такие особенности элементарных частиц, как их взаимопревращаемость и взаимообусловленность их свойств, свойства вакуума и явления симметрии, нельзя объяснить на основе понятий и принципов классического атомизма. Вместе с исследованием природы квантовых процессов возникла современная форма атомистического учения с новым взглядом на структуру, на отношение сложного и элементарного и пр. Все это не могло не повлиять на содержание учения об организации сложных объектов.

Развитие кибернетики также способствовало изменению самой постановки проблемы организации. Возникло обобщенное понимание, в котором представление об организации имело расширительное толкование и было распространено на различные классы объектов.

Из всего сказанного об изменении содержания понятия организации вытекает, что формирование общих представлений об организации связано со всей системой знания, что содержание этого понятия в значительной мере определяется теми задачами, которые встают в науке в тот или иной конкретный период.

Какое в настоящее время соотношение между традиционной постановкой вопроса об общих принципах организации и современным пониманием проблемы? Существуют ли какие-нибудь проблемы, специфичные именно для современного этапа развития концепции организации? По нашему мнению, существуют. Особенностью современного состояния анализа организации является многоплановость, разнообразие способов интерпретации этого понятия. Достаточно даже беглого знакомства с современной литературой, чтобы убедиться, что термины «организация», «уровень организации», «упорядоченность» и др. используются, во-первых, очень широко, а во-вторых, применяются к явлениям весьма различного типа. В известной мере можно, конечно, объяснить распространенность этих терминов развитием системно-структурных представлений; но такое объяснение, будучи правильным в первом приближении, необходимо рассматривать как симптом каких-то более глубоких процессов.

Разноплановость понятия приводит нередко к разнобою в терминологии и влечет за собой известную неопределенность самого понятия организации. В значительной мере это определяется тем,

что научное познание, сталкиваясь с настоятельной потребностью анализа феномена организации в различных областях знания и при решении различных задач, вынуждено изучать различные стороны и аспекты организации, связанные со спецификой поставленных задач. По этой причине определения понятия организации часто отличаются одно от другого по своему составу, степени общности. Так, при рассмотрении организации как понятия, противоположного дезорганизации, в качестве меры дезорганизации принимают энтропию системы, а понятие организации тем самым связывают с противоположным понятием негэнтропии.

О высоте организации биосистем судят, скажем, по другим параметрам, в частности по уровню развития функциональных систем. Но и в этом случае не всегда можно получить однозначный ответ на требуемый вопрос, поскольку один и тот же организм может быть высокоорганизованным в отношении одной функции и низкоорганизованным в отношении другой. Однозначного определения понятия организации пока еще не имеется и потому, что не охарактеризованы точно параметры организации, что в свою очередь делает невозможным количественную оценку и объективное сравнение систем по высоте, уровню организации. Таким образом, попытка определить понятие организации приводит к необходимости выявления критериев организованности, что позволит в дальнейшем различать системы по степени совершенства отдельных функций или каким-то другим важным свойствам и сторонам. Такое многообразие черт, сторон организации особенно выявляется, когда обращаются к изучению этих проблем в области социальных явлений [Гвишиани Д. М., 1970].

Таким образом, на вопрос о том, что такое организация, можно получить самые различные ответы в зависимости от специальности ученого. Если сопоставить современные точки зрения по вопросу об организации с теми, которые высказывались в различные периоды развития концепции, то эти ответы будут умножены. По мере того, как исследование организации все более дифференцируется, становится ясным, что понятие организации в философии не тождественно организации в специально-научной трактовке. В изучении методологической проблематики понятие организации выполняет определенные функции, которые не могут взять на себя частнонаучные определения.

Все сказанное о подходах к определению понятия организации свидетельствует о том, что в каждом из них делается попытка отобразить какой-то фрагмент действительности с точки зрения его предметного содержания. В этом случае к определению организации подходят с точки зрения специфики объекта и некоторых его объективных характеристик. Анализируя эту сторону организации, можно, например, указать на естественную расчлененность и структурированность сложных систем.

Вместе с тем множественность аспектов понятия организация, как мы видели из предыдущего анализа, во многом обусловлена

контекстом теоретической системы, в рамках которой рассматривается организация. Эта последняя сторона в определении понятия связана с познающей деятельностью субъекта. Именно в этом смысле следует понимать замечание У. Р. Эшби, когда он говорит об «ограничении» при выделении различных аспектов организации в зависимости от позиции «наблюдателя». Это ограничение обусловлено контекстом научной теории. Поэтому «существенная часть теории организации,— считает Эшби,— касается свойств, которые не являются внутренне присущими реальным объектам, а зависят от отношения между наблюдателями и объектами» [Эшби У. Р., 1966, с. 317].

Остановимся вкратце на некоторых определениях понятия «организация». Так, Винер называл теорию организации теорией борьбы с мировым хаосом, с роковым возрастанием энтропии. В контексте другого теоретического описания организация изучается с точки зрения временны́х характеристик, когда в поле зрения оказывается динамичность, изменчивость систем.

Из всего сказанного следует признание единства различных моментов, сторон в определении критериев организации — онтологических и гносеологических характеристик, объективных (предметных) и субъективных (обусловленных концептуальными рамками). Познание организации выступает как процесс взаимодействия субъекта и объекта, в ходе которого на объект познания происходит наложение различных теоретико-познавательных моделей. Сложности феномена организации противостоит увеличивающееся многообразие концептуальных схем, в рамках которых оно получает свое объяснение. Так, способ теоретического ви́дения организации может быть задан исходя из физико-химических методов, а может и с точки зрения идей теории управления или теории информации. Другими словами, с помощью различных познавательных средств изучается один и тот же феномен — организация. Тем самым познание движется к выявлению многообразных закономерностей, исходя из которых можно построить общую теорию организации.

Все это говорит о том, что при изучении организации происходит не только вычленение отдельных специальных характеристик применительно к какому-то классу объектов, но и установление связи между различными типами знания, производится интеграция этого знания. Такой подход представляет собой попытку создания синтетической концепции.

Современное понимание организации, существуя главным образом в качестве некоторого регулятивного принципа, направляет познание сложных систем и по пути изучения внутренних динамических характеристик и включает изучение структурной иерархии различных внутренних подразделений, и основывается на сравнении поведенческих функций самоуправляемых систем различных классов. Разработка более обобщенных представлений об организации является вместе с тем исследованием тех методо-

логических принципов, на базе которых осуществляется объяснение природы качественно различных объектов. В многообразных исследовательских задачах наблюдается, таким образом, специфическая ориентация на свой особый предмет исследования, со своими специфическими методами и приемами. Эти подходы и способы объяснения находятся между собой в отношении взаимного дополнения. Вместе с тем все более осознается ограниченность каждого из подходов в отдельности. Все большее признание получает мысль о том, что построение общей теории организации возможно на пути синтеза многообразных представлений о ней.

Мы начали свой анализ проблемы с методов, с методологических вопросов, потому что различные аспекты формирующейся концепции организации генетически связаны со всей развитой системой теоретического знания, каждый элемент которой задает зачастую теоретическое ви́дение организации. И поскольку обнаруживается многообразие позиций в исследовании организации, то было бы правомерным ожидать, что им соответствует некоторый ряд моделей организации. Построение таких моделей может быть осуществлено исходя из концепции динамичности, на основе представлений об активности биосистем, исходя из принципа иерархичности и др. Существенный интерес представляет также рассмотрение взаимосвязи организации и управления.

Как связаны между собой организация и управление? До сих пор мы рассматривали эти понятия в отрыве друг от друга. Попытаемся на некоторых примерах анализа природы биологической организации увидеть суть этой связи.

В ходе развития представлений об управлении в живой природе были рассмотрены структурные особенности этих процессов и был выявлен ряд относительно самостоятельных уровней. При описании многоуровневого, иерархического характера управления были предложены различные модели истолкования самого способа соподчинения между уровнями. Согласно одной модели, эта соподчиненность должна иметь вид того же типа связей, который имеет место в военной организации, а передаваемые в процессе регулирования сигналы стали истолковывать как своего рода «команды», которые включают механизмы «служебных» систем. Такое понимание, как мы видим, навязывает однозначную, жесткую интерпретацию отношений между ярусами системы управления. Дальнейшие исследования показали, что это не соответствует реальной картине их взаимосвязи. Ведь многие регуляторные системы существуют в организме относительно автономно, например, системы, регулирующие температуру тела, водный и ионный баланс, состав крови и т. д., не подчинены полностью коре мозга или, по крайней мере, не находятся под ее непосредственным контролем. Несомненно, между всеми системами управления существует корреляция, но она многообразна как по форме, так и по содержанию, и не может быть сведена к отношению типа «команда — подчинение».

Как стало ясно из анализа технических и некоторых биологических систем управления, структура управления может быть представлена в виде сложной иерархической конструкции, состоящей из ряда взаимосвязанных подсистем различного порядка сложности. Каждая из них относительно самостоятельна и в то же время все ярусы управления связаны так, что выходные сигналы одной системы передаются на вход другой системы.

Представление о многоуровневой структуре управления было разработано Н. А. Бернштейном в начале 40-х годов, т. е. еще до того, как Н. Винер сформулировал основные понятия кибернетики. При анализе физиологических основ движения Н. А. Бернштейн получил интересные выводы о соответствии между определенными двигательными задачами и специфическими структурами нервной системы, которые управляют движением. Центральная нервная система, оказывается, имеет целый ряд таких иерархически взаимосвязанных структур. Выполнение определенных двигательных задач зависит от содержания и смысловой структуры этих задач [Бернштейн Н. А., 1947, гл. 3].

В дальнейшем принципу иерархичности построения управления было придано широкое и фундаментальное значение: многоуровневый характер управления стал выступать в качестве определяющей черты сложноорганизованных систем. Такая организация обеспечивает системе максимальную устойчивость и совершенство регуляции. Более сложные по своей организации системы отличаются степенью дифференцированности аппарата управления, появлением его новых ярусов и уровней.

Как показывают данные биокибернетики, схема конструирования отношений между отдельными уровнями регулирования в биологических системах не имеет характера линейного ряда, а сами отношения нельзя представить в виде последовательного включения частей друг в друга. Каждый из относительно самостоятельных уровней регулирования решает свою «частную» задачу. Однако в отличие от технических устройств в биосистеме все подсистемы не соединены непосредственной однозначной связью, не включены последовательно одна в другую. Соотношение между «низшими» и «высшими» ярусами управления таково, что каждый из них работает относительно независимо, не соединяясь в линейную цепь. Задача высшего уровня состоит не в том, чтобы управлять работой низшего центра непосредственно, а производить перестройку во взаимодействии с элементами на низших уровнях [Гельфанд И. М., Гурфинкель В. С., Цетлин М. Л., Шик М. Л., 1966, с. 269].

Было бы явным преувеличением сказать, что биокибернетические исследования управления позволили полностью сформулировать динамику биологической организации, описать общую структуру различных ярусов управления. Проведенная работа — лишь первые шаги на этом пути. По мере изучения этой иерархии становится очевидно, что управление будет эффективным, если система управления на каждом шагу осуществляет просмотр больших

групп элементов системы и уменьшает многообразие ее состояний, отбрасывая при каждом выборе группы, ошибочные варианты поведения.

В сложно организованных системах для эффективного управления необходимы как механизмы прямого, централизованного, так и децентрализованного управления. Расчленение общей системы на ряд подсистем и переход к формированию «целей» для этих подсистем — один из наиболее эффективных способов «борьбы» с большой размерностью задачи, который известен как метод декомпозиции. Следствием большой размерности является наличие большого объема первичной информации (исходных данных), собрать которую и обработать в одном месте порой невозможно. Ведь сложные системы в своих частях характеризуются различными множествами показателей, которые могут быть представлены на различных языках. Естественно, что задачи управления, которые здесь важны, всегда будут многомерными. Их решение связано с пошаговым перебором вариантов в многомерном пространстве.

Таким образом, из проведенного анализа следует, что идеи и методы теории управления применяются в качестве одного из адекватных методов анализа динамичности организации. Ему нельзя приписать значение универсального, или единственного, метода, поскольку существуют иные концептуальные рамки, в пределах которых можно получить иное видение организации.

Мы рассмотрели вопрос о значении идей организации и управления в познании сложно организованных систем. Мы видели, что современные исследования сложно организованных систем многообразны. Это многообразие определяется множественностью исследовательских задач по изучению различных сторон и параметров этих систем, многообразием специфических приемов и методов анализа. Одна и та же система может изучаться в различных исследовательских задачах и притом различными методами. Все это обусловливает многоуровневость знания об объекте. Именно эта многоуровневость знания порождает в отдельных случаях переоценку каких-то отдельных методов изучения, предопределяет субъективистские тенденции и абсолютизацию отдельных направлений исследования. Синтез внутренне расчлененного знания об организации сложных систем возможен, в частности, на пути создания общей теории систем.

Литература

Беллман Р. Теория регулирования.— В кн.: Математика в современном мире. М., 1967.

Берталанфи Л. Общая теория систем.— В кн.: Исследования по общей теории систем. М., 1969.

Бернштейн Н. А. О построении движений. М.— Л., 1947.

Бесекерский В. А., Попов Е. П. Теория систем автоматического регулирования. М., 1972.

Винер Н. Кибернетика и общество. М., 1958.

Гвишиани Д. М. Организация и управление. М., 1970.

Гельфанд И. М., Гурфинкель В. С., Цетлин М. Л., Шик М. Л. Некоторые вопросы исследования движений.— В кн.: Модели структурно-функциональной организации некоторых физиологических систем. М., 1966.
Глушков В. М. О кибернетике как науке.— В кн.: Кибернетика, мышление, жизнь. М., 1964.
Глушков В. М. Построение автоматизированных систем управления: основные принципы.— В кн.: Актуальные проблемы управления. (кн. 1). М., 1972.
Основные направления развития народного хозяйства СССР на 1976—1980 годы. М., 1976.
Рапопорт А. Принцип математического изоморфизма в общей теории систем.— В кн.: Системные исследования. Ежегодник 1973. М., 1973.
Розоноэр Л. И. Предисловие к книге: *Ф. Гродинз.* Теория регулирования и биологические системы. М., 1966.
Украинцев Б. С. Самоуправляемые системы и причинность. М., 1972.
Хэммонд П. Теория обратной связи и ее применение. М., 1966.

КИБЕРНЕТИЧЕСКИЙ ПОДХОД В ФИЗИОЛОГИИ ВЫСШЕЙ НЕРВНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

В. Н. Свинцицкий

Проникновение идей и методов кибернетики в физиологию высшей нервной деятельности стало фактом. Оно представляет собой сложный и противоречивый процесс, выражающий один из аспектов тенденции к интеграции естественнонаучного знания в условиях развертывающейся научно-технической революции. Этот процесс не может рассматриваться как простое присоединение некоторых кибернетических принципов и математического аппарата к готовым, традиционно сложившимся формам физиологической науки. Кибернетический подход предполагает радикальные изменения в структуре физиологического знания, в способах его движения к новым результатам, создание фундаментальных теоретических концепций. В качестве одной из таких концепций, выражающих кибернетическое направление в современной физиологии высшей нервной деятельности, выступает так называемая физиология активности.

Характерная особенность этой концепции, обусловливающая эффективность ее методологического и философского анализа, заключается в том, что она возникла в результате теоретической интерпретации новых эмпирических данных нейрофизиологии, молекулярной биологии, биокибернетики. Поэтому она приобретает специфичный статус междисциплинарной теоретической концепции, синтезирующей знание из различных наук. В качестве результата теоретического синтеза она неизбежно должна включать в себя определенные методологические посылки и элементы философского характера, которые и являются предметом нашего рассмотрения в настоящей статье.

Научный статус концепции физиологии активности

Вопрос о статусе концепции физиологии активности тесно связан с проблемой изменения соотношения эмпирического и теоретического в современной физиологии высшей нервной деятельности. Анализ характера этого соотношения показывает, что развитие кибернетического подхода в физиологии высшей нервной деятельности связано с радикальным изменением логической структуры физиологического знания, а именно: переходом от теоретико-эмпирических методов анализа к уровню гипотетико-дедуктивных построений.

Предпосылки теоретизации физиологии назревали давно. Уже физиология классического периода накопила такой громадный фактический материал и достигла такого уровня эмпирических обобщений, что гипотетико-дедуктивная организация ее построения стала необходимым условием ее дальнейшего развития. Однако для каждой эпохи существует своя канонизированная система анализа, теоретического освоения мира, которая служит своеобразным образцом (парадигмой) для науки в целом. Для старой физиологии таким образцом служила классическая механика с ее жестко детерминистской формой объяснения. Последняя в значительной мере определяла специфическую эмпирико-теоретическую систему познавательных средств, накладывающих определенные ограничения на интуитивное содержание исходных физиологических понятий и на первоначальные идеализирующие допущения.

Формирование теории физиологии активности — качественно иной этап теоретизации физиологии высшей нервной деятельности. Это выразилось в изменении самой постановки задач физиологического исследования. В отличие от классического направления, формулирующего свои задачи как исследование «динамики нервных процессов», лежащих в основе поведения, новое направление имеет своим предметом «изучение операций, осуществляемых нервной системой в процессе обработки внешней информации и управления поведением» [Чистович Л. А., 1970, с. 93]. Такая формулировка основной задачи исследования свидетельствует о том, что в физиологии осуществляется переориентация на новую кибернетическую парадигму. Именно этим обусловлено введение в физиологию таких понятий как «обратная связь», «функциональная система», «вероятностное прогнозирование», «опережающее отражение», «предвосхищающая модель», «акцептор действия» и др. [1]. Благодаря использованию такого рода понятий физиологические аксиомы утрачивают прежнюю наглядность, а связь теоретических гипотез и утверждений с эмпирическим базисом приобретает чрезвычайно сложный и опосредствованный характер.

[1] Как отмечает Л. А. Чистович, классическое направление в физиологии высшей нервной деятельности и современное, сформировавшееся под влиянием кибернетики, говорят «...на совершенно различных языках... так как не совпадают сами системы понятий» [1970, с. 93].

Кибернетический подход в физиологии высшей нервной деятельности выразился не только в использовании кибернетических конструктов и математических формализмов, но и в изменении форм причинного объяснения и эмпирического обоснования. Для классической физиологии и ассоциативной психологии способ объяснения поведения системы реализовался через знание эмпирических элементов системы и способов их соединения. По свидетельству С. Л. Рубинштейна [1935, с. 67], в ассоциативной психологии объяснение «понималось специфическим образом, как реконструкция целого из элементов, на которые она его разлагала». Кибернетический подход предполагает в качестве объяснения эмпирически установленных фактов их теоретическую интерпретацию. Некоторые исследователи, воспитанные на классических традициях «настоящей» физиологии, оказались психологически неподготовленными к столь радикальному изменению формы научного объяснения (а, следовательно, и процедуры эмпирического обоснования). На словах они не возражали против использования кибернетических идей и математических методов в физиологических исследованиях, многократно повторяли призыв И. П. Павлова выразить всю совокупность физиологических уравновешиваний организма в виде «величественных математических формул». Однако реализацию этого призыва представляли себе упрощенно-механистически, как «чисто внешнее» математическое описание готовых, традиционно сложившихся форм физиологического знания. То, что использование математического аппарата предполагает разработку новой аксиоматики, меняет саму структуру физиологического знания, они расценили как свидетельство «неполноценности» последнего.

Другими словами, современная физиология высшей нервной деятельности рассматривается ими как бы состоящей из двух самостоятельных частей. Первую и основную часть составляет «настоящая физиология», под которой понимают «прямое исследование структур и функций центральной нервной системы». Как следует из контекста, «прямое», или «чисто физиологическое» исследование представляет собой такое исследование, которое реализуется посредством естественного наблюдения или сложного эксперимента[2], а не путем теоретической реконструкции. Физиологическое знание, которое получено в результате использования кибернетических идей, математических формализмов и теоретико-информационного моделирования («моделирование на уровне информационных процессов»), согласно такой точке зрения, считается «ущербным», неполноценным, второстепенным, как «не чисто физиологическое». Главный критический довод заключается в том, что такое знание якобы не раскрывает «реальных физиологических механизмов» исследуемого процесса, а только описывает предполагаемую последовательность этапов («логику» процесса).

[2] Методологические вопросы физиологии высшей нервной деятельности. Л., 1970, с. 89.

Объективно это означает только то, что биокибернетическим утверждениям не может быть приписана никакая физиологическая реальность с помощью системы понятий классического рефлекторного учения.

Суть дела, таящаяся за путаными рассуждениями о «настоящей» и «ненастоящей» (формализованной) физиологии, заключается в том, что переход к новой концептуальной системе физиологического знания связан с принятием новой семантики, которая как раз и определяет конструктивную точку зрения на теоретические построения физиологической кибернетики. Отличие нового, *конструктивного понимания* от классического заключается в том, «что мы не предполагаем неосмысленности знаков формализма теории. Наоборот, предполагается, что выражения теории осмыслены с самого начала независимо от их эмпирической интерпретации (*нечто вроде «презумпции осмысленности»*) [*Попович М. В.*, 1967, с. 157]. Возможно, что это не менее сильная идеализация, чем ««презумпция бессмысленности» формализма, но по крайней мере она не менее правомерна» [Попович М. В., 1967, с. 167]. Физиологический смысл в этом случае *приписывается не элементам в отдельности*, а теоретической системе в целом. При этом, хотя и учитывается интуитивное содержание исходных понятий, оно должно быть дополнено анализом тех специфических ограничений, которые накладываются на это содержание в теоретической системе. Ведь создаваемый биокибернетический понятийный аппарат выполняет функцию языка современной физиологии, который специфическим образом накладывается на результаты эмпирического исследования.

Все более широкое использование теоретических конструктов и математических формализмов не является данью моде,— как представляют физиологи классического направления,— но выражает закономерный этап в развитии физиологии, когда она уже не может ограничиваться установлением эмпирических зависимостей и предполагает в качестве объяснения исследуемого явления его теоретическую реконструкцию. Объяснение эмпирических результатов исследования предполагает выбор и наложение определенного языкового каркаса, включающего символические языковые структуры и математические формализмы.

В этой связи целесообразно сформулировать общее требование к средствам теоретического языка, которое используется как для формулировки утверждений, связывающих наблюдаемые факты, так и для гипотетического конструирования всевозможных моделей целесообразных явлений. Область объектов, принимаемых в качестве значений квантифицируемых переменных, ограничена единственным требованием, чтобы теоретический язык включал разделы математики, необходимые в современной науке, а также типы объектов, встречающихся в любой естественнонаучной теории [см.: Ледников Е. Е., 1969, с. 56].

Следует подчеркнуть, что принятие этого требования не озна-

чает уступки позитивистскому пониманию конвенционального характера языковых форм, используемых для выражения теоретического знания. В противоположность позитивистскому подходу, мы, следуя В. А. Смирнову, рассматриваем логическую структуру языка, систему его объектов «не как нечто произвольное, принимаемое в результате соглашения, а как результат познавательной работы, как более или менее приблизительное, упрощенное воспроизведение наиболее общих сторон и соотношений действительности». [Смирнов В. А., 1967, с. 124]. Такое понимание, прямо следующее из ленинской теории отражения, позволяет четко разграничить диалектико-материалистическую постановку вопроса от его позитивистского истолкования — с одной стороны, и от представлений наивного реализма — с другой.

Поэтому в рамках биокибернетического подхода объяснить физиологический факт (эмпирически зафиксированное соотношение) — значит определить его место, вывести его из соотношений, определяющих его положение в некоторой теоретической системе утверждений. Такое объяснение с позиций классического понимания представлялось «ущербным», «нефизиологичным», описывающим только «смену фаз», «логику» физиологического процесса. В некоторых случаях оно даже метафизически противопоставлялось традиционному «каузальному» объяснению как ненаучное. Однако по мере того, как выводимым утверждениям и следствиям физиологии активности сообщалась эмпирическая интерпретация, эта теоретическая концепция обретала статус подлинного естественнонаучного объяснения. Последнее оказалось вполне оправданным (имеющим опытное обоснование) в новой концептуально-понятийной системе физиологического знания, ориентированной на кибернетическую парадигму.

Об условиях математизации физиологии

Теоретизация физиологии в рамках кибернетического подхода реализуется в значительной мере как процесс ее математизации. Уже «элементарные» аспекты математизации физиологии — измерение и параметрирование, с которыми в традиционном понимании связывают переход от уровня эмпирического описания к уровню теоретического объяснения,— не являются тривиальными. Они предполагают определенную концептуальную процедуру введения чисел в формулировку высказываний и законов — процедуру квантификации. Представление научного объекта посредством системы квантифицируемых признаков или величин характерно для всего современного естествознания. Однако биологические и нейрофизиологические объекты весьма специфичны: они построены посредством идеализаций, которые разительно отличаются, например, от физических. Поэтому выбор системы квантифицируемых признаков предполагает здесь совершенно иную аксиоматическую основу, которая только складывается.

Критерии такого выбора еще во многом неясны. Это вынуждает исследователей прибегать к квазифизической постановке задач, когда в качестве квантифицируемых свойств принимаются не специфически физиологические, а, по существу, физико-химические величины — температура, плотность, давление крови, удельный вес, химический состав и др. Малая эффективность такого подхода, на наш взгляд, обусловлена отсутствием объективных критериев выбора, которые бы соответствовали специфической аксиоматике (дескриптивному содержанию исходных терминов) и характеру постановки задач в современной физиологии.

Существенно отметить также, что процесс математизации физиологии долгое время осуществлялся посредством использования классических аналитических методов, в частности, аппарата дифференциальных уравнений. Так, в 1935 году, разрабатывая гипотезу «предвосхищающей модели» применительно к анализу функциональной структуры двигательной реакции, Н. А. Бернштейн пытался ввести метрические характеристики последней именно при помощи такого аппарата. Он показал, что если центральный импульс будет задан функцией положения и скорости передвижения эффектора, резко варьируя в зависимости от различных начальных условий, то можно заранее определить конечный результат двигательной реакции посредством нахождения решений следующего дифференциального уравнения.

$$J\,\frac{d^2\alpha}{dt^2} = F\left[E\left(t, \alpha\,\frac{d\alpha}{dt}\right), \alpha\,\frac{d\alpha}{dt}\right] + mG(\alpha)$$

[см.: Бассин Ф. В., 1967, с. 76].

Не умаляя значения этого результата, мы все же не можем согласиться с Ф. В. Бассиным в том, что это уравнение является «непревзойденным по глубине образцом» приложения математики к анализу нейрофизиологических зависимостей. В целом такого рода попытки описания кинематики суставов посредством гидродинамических уравнений (предпринятые также О. Фишером) по свидетельству самого Н. А. Бернштейна оказались «малоудачными». Это объясняется тем, что нейрофизиологические объекты представляют собой органически целостные сложноорганизованные системы, которые не могут интерпретироваться как некоторое множество с последующим применением классических аналитических методов анализа. Они требуют других методов исследования, специфичной математики живого, которая еще только складывается. В рамках биокибернетического подхода идеализированное представление органически целостных систем как множеств, на которые налагаются определенные ограничения, не смогло дать адекватное представление о живом.

Таким образом, процесс введения математических формализмов в физиологию посредством использования аппарата дифференциальных уравнений оказался не вполне удачным. Это обусловлено тем, что указанный процесс, по образному выражению Н. А. Берн-

штейна, реализовался прямолинейно, как «приживление или подсадка» математики к наукам о живой природе извне. Иначе говоря, математизация физиологии реализовалась посредством механического наложения концептуальной сетки классической математики на готовое (традиционное) физиологическое знание, хотя объективные предпосылки для этого (выработка соответствующей физиологической аксиоматики) почти не наблюдалась. Возникшие затруднения заострили внимание исследователей на специфике логического «развертывания» гипотетико-дедуктивной теории в физиологии.

Концепция физиологии активности в качестве предпосылки гипотетико-дедуктивного построения знания отражает именно кибернетические особенности теоретизации физиологии. Уже на заре появления кибернетического подхода в познании было ясно, что его становление предполагает дедуктивные или аксиоматические принципы теоретического построения с привлечением логико-математических формализмов. Не случайно, когда Норберт Винер искал «святого» — «покровителя» кибернетики,— он остановил свой выбор на Г. В. Лейбнице. Именно в трудах последнего были впервые сформулированы условия обоснованности гипотезы и разработан гипотетико-дедуктивный метод в логически завершенном виде. Это давало повод предполагать, что логическое «развертывание» этого метода в связи с проникновением кибернетики в эмпирические науки выразится в полной формализации отдельных фрагментов последних. Иначе говоря, казалось, что кибернетизация биолого-физиологического знания выразится в реализации той схемы дедуктивного построения, какая сложилась при аксиоматизации математических теорий. Однако вскоре обнаружилось, что это не совсем так.

Во-первых, формальные дедуктивные системы, формализующие *различные области математического знания, создавались с целью* разрешения математических парадоксов [3]. Таких потребностей не имеют эмпирические науки, в частности биология, физиология и психология [4]. Гипотетико-дедуктивная организация этих областей знания представляет собой некоторую иерархически построенную логическую систему естественнонаучных понятий и математических формализмов, из которой дедуцируются эмпирически верифицируемые следствия. Такого рода логическую систему иногда называют формализованной постольку, поскольку применение мате-

[3] Здесь формализация рассматривается как логико-математический способ построения доказательства безотносительно к анализу семантического содержания используемых формул, т. е. чисто синтаксически.

[4] Применительно к упомянутым наукам говорить о формализации можно лишь как об уточнении содержания изучаемых предметов и соответствующих им понятий, введении идеализаций и идеализирующих допущений в состав теории уже на таком уровне, который допускал бы процедуру квантификации и математическое оперирование с научными объектами [см.: Горский Д. П., 1967, с. 101].

матических исчислений в эмпирических науках по существу не отличается от применения логических исчислений.

Во-вторых, как свидетельствуют современные логические исследования, даже наиболее интересные формальные аксиоматические системы математики, например, теория групп, являются неполными. Эта особенность дедуктивных теорий еще в большей мере сказывается при формализации различных фрагментов естественнонаучного знания, где невозможно исключить содержательные, интуитивные соображения. Элементы неполноты, неформализуемости реальных языковых систем обусловлены, в конечном счете, тем, что они сами являются абстрактными моментами, или, по терминологии К. Маркса, «абстрактными условиями» реального познавательного процесса. Это объясняет принципиальную незавершенность процесса формализации всякой достаточно богатой содержательной теории, на каждой стадии которого остается некоторый «неформализованный остаток». Диалектическое противоречие между содержательным знанием и уровнем его формализации составляет, как неоднократно отмечалось в нашей философской литературе, один из источников развития научного познания.

Методологические предпосылки физиологии активности

В некотором смысле концепция физиологии активности знаменует собой начальный этап теоретизации физиологии высшей нервной деятельности — этап разработки общей аксиоматики, на котором складываются определенные канонизированные классы биокибернетических структур. Уже на этом этапе подвергаются существенной трансформации традиционно-классические способы установления истинности, опытного обоснования. Как известно, физиология классического периода основывалась на представлениях наивного реализма, предполагающих непосредственное восприятие предметов объективной реальности и отражение их в научном знании такими, какими они есть «на самом деле».

При всей его исторической ограниченности такой подход импонировал стихийно-материалистическим представлениям естествоиспытателей об опытном характере науки. Прогрессивное гносеологическое значение такого подхода обусловлено тем обстоятельством, что он неявно предполагал обращение к идее объективного характера научного знания, эмпирическим критериям оценки познавательной значимости научных утверждений в противовес различным спекулятивным, конвенционалистским доктринам.

Однако в более близкий нам павловский период развития рефлекторной концепции требование опытного обоснования физиологических утверждений трансформировалось в позитивистское требование их сводимости к предикатам языка наблюдения, или, в несколько другой редакции, к данным «непосредственного опыта». Это требование в конечном счете покоится на признании «непосредственного данного» в физиологических ощущениях единст-

венной физиологической реальностью. Допуская, что предметы реального мира представлены нам в «непосредственном знании» такими, какими они есть на самом деле, позитивизм возвращается на позиции наивного реализма, с отрицания которого он начал.

Методологическая несостоятельность такого допущения с позиций ленинской теории отражения достаточно убедительно показана советскими философами, вскрывшими принципиальную ограниченность той узкоэмпирической проверочной основы, на которой *позитивизм пытался решить проблему истинности*, а также четко разделяющими объект науки как «внутритеоретический» объект и реально существующую вещь [Смирнов В. А., 1962, 1964; Попович М. В., 1966; Нарский И. С., 1967; Ледников Е. Е., 1969; Мамчур Е. А., 1971]. Объекты науки, конституирующие определенную картину мира, являются результатом определенных познавательных процедур схематизации и идеализации и всегда коррелятивны *введению того или иного языкового каркаса*; следовательно, они не могут рассматриваться только в их отношении к реально существующему миру, но предполагают их рассмотрение в общем контексте логической структуры знания, в отношении к языку науки. Наблюдение составляет определенную познавательную процедуру, определенную систему анализа окружающего мира. Наблюдаем или ненаблюдаем объект науки — проблема его онтологического статуса — это проблема научного познания, неизбежно «отягченного» теоретическими представлениями.

Теоретические представления физиологии активности

Система теоретических представлений физиологии активности, поскольку она находилась в отношении генетической преемственности к классической рефлекторной теории, первоначально содержала следующую неявную посылку: ее строгость и опытное обоснование предполагают элиминацию принципиально (экспериментально) не наблюдаемых объектов. Требование эмпирической *интерпретации (в терминах языка наблюдения) научных утверждений* здесь сохранило свою силу как свидетельство опытного характера данной области знания, которая в конечном итоге реализуется в сфере наглядной чувственно-практической деятельности человека. Однако принципиальная индуктивная невыводимость теоретического знания из эмпирических результатов наблюдений свидетельствует об ограниченности узкоэмпирических критериев *истинности и научности* [*см.*: Мамчур Е. А., 1971]. *Кроме того*, ускоренный процесс теоретизации физиологии, особенно вследствие развития кибернетического подхода, сопровождался в рамках ее собственных построений повышением удельного веса теоретических конструктов и математических формализмов. Такого рода научные объекты не обладают своими наглядными коррелятами в объективной реальности. Потеря наглядности выразилась также в том, что требование интуитивного понимания новых аксиом,

вводимых в физиологическую теорию, стало выполняться все в меньшей степени. В этом некоторые авторы склонны были усматривать ущербность («нефизиологичность»), «умозрительность» концепции физиологии активности.

Согласно классической точке зрения, естественнонаучные объекты считались содержательными, т. е. заданными до построения аксиоматической системы. Между тем, отдельно взятые понятия физиологии активности вне рамок целостной теоретической системы не могли иметь никакой наивно-реалистической репрезентации, свидетельствующей о их содержательной истинности (соответствии действительности). Другими словами, для некоторых естествоиспытателей научные понятия, вводимые в физиологию и биологию посредством концепции активности, оставались «умозрительными», «нефизиологичными», поскольку они не удовлетворяли онтологическим допущениям классической физиологии.

В частности, понятию «модели потребного будущего» не может быть приписана физиологическая реальность в рамках классического мышления, поскольку ему не может быть приписан предикат наблюдаемости в системе языковых средств классической физиологии. С точки зрения последней наблюдаемость объекта, которая одновременно выполняла роль доказательства его существования, означала его наблюдаемость (непосредственно или с помощью эксперимента) как такового, т. е. как вещественного субстрата, имеющего внутреннюю структуру и пространственно-временну́ю локализацию. Развитие кибернетического подхода в физиологии ввело в ее научный обиход понятие «модель потребного будущего» — понятие об объектах нового типа, сконструированных посредством иных, отличных от классических идеализаций. При построении таких объектов отвлекаются от того, что в классической физиологии служило свидетельством его наблюдаемости,— существования — от его вещественного субстрата.

В физиологии активности «модель потребного будущего» — это информационная модель основных (видовых) реакций организма, закодированная в генетических структурах и реализующая свою регулирующую функцию в контуре управления безотносительно к вещественному субстрату, в форме которого она существует. Так, например, в эвристическом программировании при исследовании процессов мышления методами кибернетики используется аналогичное понятие («внутренняя модель внешнего мира», существующая в виде идеального образа), в основание которого положены те же идеализирующие предположения. В биокибернетических исследованиях отвлекаются от энергетических характеристик и других физических свойств тех наследственных или нейродинамических мозговых структур, посредством которых кодируются упомянутые «модели», принимая во внимание исключительно их информационное содержание.

Следует подчеркнуть, что идеализирующие предположения такого рода оправданы и плодотворны только в рамках биокибер-

нетического подхода при решении определенного круга исследовательских задач, который не может быть очерчен заранее из общих формально-логических посылок. Только исторический опыт развития рефлекторного учения, использования его результатов в практической деятельности человечества позволяет приблизительно очертить сферу допустимой применимости используемых идеализаций, элиминировать некоторые из них, оказавшиеся несостоятельными в новых познавательных ситуациях. В некотором смысле можно утверждать, что возникновение физиологии активности способствовало выявлению сферы допустимой применимости или полного характера *тех фундаментальных идеализаций*, которые положены в основание классического учения о высшей нервной деятельности.

Как известно, фундаментальное идеализирующее предположение, положенное в основание классической рефлекторной теории, содержало предельный переход к такому в действительности недостижимому, «фиктивному» отношению, при котором поведение организма в онтогенезе считалось всецело обусловленным окружающей средой. (Мы имеем в виду известный тезис классической физиологии об определяющей роли внешней среды в формировании рефлекторной реакции). Успешное развитие рефлекторной теории, ее опытный характер свидетельствуют об оправданности и эффективности принятой идеализации. Однако только применительно к *ограниченному классу познавательных ситуаций*. Последующее развитие нейрофизиологии, а также фундаментальные достижения в области молекулярной биологии, успехи в изучении анатомии мозга способствовали возникновению *новых познавательных ситуаций*, предполагающих новую постановку вопроса. Почему на данное воздействие окружающей среды организм отвечает определенной реакцией? Классическая рефлекторная теория, принявшая в качестве своей исходной посылки допущение о независимости развертывающейся рефлекторной реакции от эндогенных факторов, являющихся причиной любого поведенческого акта, не могла дать ответа на этот вопрос.

Разумеется, уже классическая физиология отошла от первоначальной наивной декартовской схемы рефлекса «стимул — реакция», свидетельством чему может служить ее общая идея «функционального фона» или (в бихевиористской редакции) «промежуточных переменных», помещенных между стимулом и реакцией и *детерминирующих приспособительный характер реакции*. Однако классическая рефлекторная теория лишь наметила пути преодоления ограниченности механической схемы рефлекса. Она вплотную подошла к уяснению вопроса о том, *каким образом особенности* функционального фона активируемых физиологических систем создают потенциальную возможность дифференцированных ответов на один и тот же стимул.

Но как происходит выбор одного из многообразных возможных ответов? Поставив вопрос таким образом, мы отчетливо видим

справедливо отмеченную Ф. В. Бассиным принципиальную ограниченность классического подхода: речь идет не столько об отсутствии однозначной зависимости реакции от стимула, сколько о том, каковы «промежуточные факторы» и в чем заключается их регулирующая роль и значение в развертывании рефлекторной реакции.

Физиология активности и представляет собой такой ответ, который сформулирован в форме развернутой теоретической концепции. *Согласно этой концепции, любой поведенческий акт* направляется обобщенно-предваряющей моделью конечного результата реакции, т. е. моделью потребного организму будущего, которая закодирована в генетических структурах организма («опыт вида») и в прижизненно складывающихся структурах. Концепция физиологии активности позволила объяснить процесс поэтапного корригирования развертывающейся рефлекторной реакции, благодаря которому поведение в целом приобретает характер активно-целенаправленной согласованной последовательности действий, а не хаотической совокупности возбуждений.

Сущность концепции физиологии активности составляет идея «микроэтапной корригируемости» рефлекторного действия в процессе его становления посредством направляющей «модели потребного будущего». Согласно этой концепции, самые разные формы приспособительных реакций, независимо от того, вызываются ли последние стимулами, исходящими из внешней или внутренней среды организма, *реализуются по все той же основной функциональной* схеме «рефлекторного кольца», т. е. опираются не на непосредственно преформированную (внешним стимулом), а на активно корригируемую (под влиянием «успеха» плюс эффект сличения, или «неуспеха» минус эффект сличения) совокупность исполнительных возбуждений, реализующих поведенческую функцию [см.: Бассин Ф. В., 1967, с. 72]. Принятие «рефлекторного кольца» в качестве основной функциональной единицы поведенческого акта позволило по-новому объяснить зависимость приспособительной реакции организма не только от «качества раздражителя», но и от истории его (организма) индивидуального и филогенетического развития.

Таким образом, речь идет не об отбрасывании классической *рефлекторной теории, а о ее адекватной перестройке, модификации*, однако столь радикальной, что она приобретает форму альтернативного объяснения. Физиология активности исходит из того, что основные (типовые) поведенческие реакции или «нормы реакций» организма, выражающие биологически приспособительный эффект его действий, преформированы в далеком прошлом «средой вида», и, следовательно, направляются главным образом информационно-наследственными эндогенными факторами. В индивидуальном развитии они только корригируются сообразно меняющимся условиям актуальной окружающей среды. Такое понимание не только не противоречит рефлекторному принципу, но определяет исходные посылки для изучения системы безусловных рефлексов, объясне-

ния роли врожденных механизмов поведения в организации сложных форм двигательной активности. Оно представляет позитивную альтернативу *канонизированным* представлениям, согласно которым различные формы приспособительной моторики реализуются якобы исключительно на основе механизма условного рефлекса.

Следует подчеркнуть, что опытные данные, противоречащие такому пониманию, были известны давно. Достаточно указать на экспериментально установленный Н. А. Бернштейном в 1935 г. факт сенсорной коррекции двигательного акта. Однако в условиях отсутствия альтернативной объясняющей концепции такого рода факты не могли поколебать, а тем более элиминировать рефлекторное учение. Они лишь указывали на наличие проблемной ситуации. Возникновение физиологии активности осуществилось именно как модификация рефлекторного учения в соответствии с новыми эмпирическими данными. И в таком понимании оно служит свидетельством не только исторически ограниченной предсказательной силы рефлекторной теории, но и ее открытого характера, позволившего по мере ее развития найти объяснение принципиально новым фактам на основе рефлекторного принципа.

Новый этап физиологии высшей нервной деятельности

Новая «кольцевая» схема рефлекса оказалась значительно сложнее первоначальной трехзвенной схемы *рефлекторной дуги* (что является неизбежной «платой» за углубление нашего понимания структуры приспособительного поведения). Она позволила теоретически осмыслить такие аспекты приспособительного поведения, которые выпадали из поля зрения старой физиологии (относящиеся к феноменам вероятностного прогнозирования, сенсорной коррекции, мотивации, установки). Вместе с тем физиология активности обладает преимуществом перед классическим рефлекторным учением по критерию простоты, отражающему прагматические аспекты организации научного знания [5].

Это кажущееся парадоксальным утверждение легко объяснимо. В обиходе современной физиологии классическую схему разомкнутой рефлекторной дуги называют упрощенной, имея в виду последующее *добавление к ней* независимых допущений и гипотез, выраженных в метаязыке старой теории. Первые допущения (введение понятия «функционального фона» в физиологии и «промежуточных переменных» в бихевиористской психологии) означают наложение *определенного ограничения на основополагающий* постулат: они указывают на зависимость реакции не только от внешнего раздражителя — стимула, но и от внутреннего состояния активируемых физиологических систем. В последующем, т. е. рам-

[5] Согласно этому критерию более простой считается теоретическая система, основанная на меньшем числе независимых постулатов и допущений. Критерий прагматической простоты определяется также по учету предсказательной силы теории, ее распространимости на область еще не познанного

ках физиологии активности, оба эти допущения оказались эквивалентными. Общебиологический подход к исследованию механизмов приспособительного поведения способствовал выявлению таких аспектов проблемы, осмысление которых в рамках классической рефлекторной теории потребовало введения в нее все новых и новых понятий и независимых допущений. Перечислим только некоторые из них: доминанта А. А. Ухтомского, понятие ориентировочной реакции, павловская идея подкрепления, «экстраполяционный рефлекс» Л. В. Крушинского, «ситуационный рефлекс» П. С. Купалова, «каузальный условный рефлекс» Э. А. Асратяна и др. вводились в рефлекторную теорию именно как независимые допущения или adhoc гипотезы с целью временного разрешения проблемной ситуации, обусловленной появлением все новых и новых эмпирических фактов, противоречащих этой теории. Особо следует остановиться на понятии подкрепления.

Павловской идее подкрепления принадлежит центральная роль в логической перестройке старой рефлекторной теории и ее обобщении в новую логически замкнутую систему теоретических представлений физиологии активности. Введение понятия подкрепления в традиционную физиологию носило характер наложения ограничения или запрета на следующее основополагающее положение классической рефлекторной теории: любая приспособительная реакция реализуется посредством непосредственно преформированной (внешним стимулом) совокупности исполнительных возбуждений. Принципиальный характер ограничения выразился в том, что понятие подкрепления содержало в старой форме новую идею корригируемости рефлекторной реакции под влиянием «успеха» или «неуспеха». Идея корригируемости противоречила классическому пониманию приспособительной регуляции, основанному на схеме разомкнутой рефлекторной дуги, поскольку она неявно предполагала наличие обратных связей (несущих информацию об «успехе» или «неуспехе» промежуточных результатов действия), т. е. непосредственно предшествовала современной концепции биологического регулирования, основанной на схеме замкнутого рефлекторного кольца [6]. Следует отметить, что зачатки понятия обрат-

[6] *Более того, даже понятие условного рефлекса в той мере, в какой оно* содержит указание на «функциональную организацию», а не «конкретный механизм» организации поведенческого акта, послужило предпосылкой современных биокибернетических представлений о биологическом регулировании. По свидетельству академика П. К. Анохина, условные рефлексы служат средством прогнозирования будущего, выполняя функции упреждения предстоящих событий (опережающих программ). Он пишет, что И. П. Павлов, «формулируя положение об условном рефлексе как «предупредительной» функции животного к будущим событиям, тем самым ввел в физиологию третью категорию времени — будущее, которое стало таким же предметом объективного изучения, как прошлое и настоящее» [см.: Анохин П. К., 1968, с. 183]. *Следовательно, развитие понятия* условного рефлекса, идея сигнальности подготовила возникновение одной из важных идей современной биокибернетики об опережающем отражении действительности.

ной связи содержались в идее корректировки поведения у И. М. Сеченова.

Таким образом оказалось, что после введения нового независимого допущения — подкрепления — рефлекторная теория существенно изменилась по сравнению с ее ортодоксальным классическим пониманием. Ее видоизменение было столь радикальным, что для перехода к обобщающей концепции физиологии активности потребовался совсем незначительный шаг. В таком толковании понятия подкрепления как связующего звена между представлениями классической рефлекторной теории и физиологии активности мы усматриваем также важный аргумент против обвинения последней в антирефлекторной направленности. По глубокому замечанию Ф. В. Бассина, «понятие подкрепления выступило в качестве своеобразного мостика, который не только логически облегчил переход от одного уровня понимания принципов организации адаптивного поведения к другому, но и отразил этот переход исторически» [см.: Бассин Ф. В., 1966, с. 7]. Попытки введения все новых и новых независимых допущений в рефлекторное учение Сеченова — Павлова прослеживается до настоящего времени [см., например, Асратян Э. А., 1970]. Однако они не получили признания большинства физиологов, поскольку все отчетливее обнаруживается, что все вводимые допущения носят характер adhoc гипотез, свидетельствующих о том, что возможности классического рефлекторного учения уже исчерпаны, в то время как сам рефлекторный методологический принцип выдержал испытание временем. И решающим свидетельством этого служит наличие *позитивной альтернативы* — новой фундаментальной биокибернетической концепции физиологии активности, представляющей собой дальнейшее развитие идеи рефлекса на новом эмпирическом основании.

Литература

Асратян Э. А. Каузальный условный рефлекс.— «Вопросы философии», 1970, № 10.

Анохин П. К. Биология и нейрофизиология условного рефлекса. М., 1968.

Бассин Ф. В. Предисловие к кн.: *И. Т. Бжалава.* Психология установки и кибернетика. М., 1966.

Бассин Ф. В. О подлинном значении нейрофизиологических концепций Н. А. Бернштейна.— «Вопросы философии», 1967, № 11.

Горский Д. П. О соотношении точного и неточного в точных науках.— В сб.: Логика и методология науки. М., 1967.

Ледников Е. Е. Проблема конструктов в анализе научных теорий Киев, 1969.

Мамчур Е. А. Критерии научности теоретических концепций.— «Вопросы философии», 1971, № 7.

Попович М. В. О конструктивном подходе к анализу языка науки.— В сб.: Логика и методология науки. М., 1967.

Рубинштейн С. Л. Основы общей психологии. М., 1935.

Смирнов В. А. Моделирование мира в структуре логических языков.— В сб.: Логика и методология науки. М., 1967.

Чистович Л. А. О двух направлениях в исследовании высшей нервной деятельности и о существе разногласий.— В кн.: Методологические вопросы физиологии высшей нервной деятельности. Л., 1970.

СИСТЕМЫ ИНФОРМАЦИИ КАК ОБЪЕКТ ИССЛЕДОВАНИЯ

В. И. Кремянский

В современных теориях управления и самоорганизуемых систем одно из главных мест занимают применения теории информации и системного подхода. Но еще недостаточно, нам кажется, осознана необходимость системного подхода к самой информации. Дело в том, что в аппаратах управления и исследования, использующих основные «массивы» социальной информации, она приобретает особые состояния. Там информация не только «сгущается», накапливаясь в определенных вспомогательных и главных узлах или блоках, но и переходит в состояния повышенной активности и организованности. Она становится системной.

Программы, вводимые в кибернетические автоматы; генотипы, вырабатываемые эволюцией в растениях и животных; научные принципы и теории, которыми руководствуются в своей работе исследователи; планы переустройства всего общества, вовлекающие в организованные и организующие действия миллионы людей,— словом, все то, что управляет посредством различных механизмов и сил сложнейшими процессами, характерными для живой природы и общества с его новой техникой, всегда содержит в себе ту или иную систему информации. Она всегда связана с вещественно-энергетическими и структурно-функциональными, композиционными основами определенных материальных носителей, но ее собственные основы отличаются от них, не совпадают с ними, выражают иные уровни системной и «метасистемной» материальности.

В нескольких новых отраслях науки такие объекты уже изучаются, но пока разрозненно; их давно изучали в целом ряде традиционных дисциплин, однако в других отношениях. Речь идет о попытке объединить эти разобщенные тенденции, чтобы «в явной форме» представить основы общего понятия класса (или нескольких классов) систем информации.

О роли понятия «системность информации»

Информацию нередко рассматривают как «свойство» систем, а в качестве «отношений» — как одну из форм структуры, находящейся в «свободном», либо «связанном» состоянии. Мы рассматриваем информацию как процессы («потоки») и статические образования, которые характеризуются специфическими типами усложненной (как бы двойной и тройной), опосредованной отображениями структурности и системности, своими типами элементов и видами активности. В соответствии с этим мы будем рассматривать общее понятие информации в тех отношениях, в каких оно отображает «пересечение» и единство целого ряда атрибутов

материи,— прежде всего отражения, структурности, активности («интенсивного» начала в отличие от «экстенсивного»), системности и взаимосвязанности. Первые три и последний из названных не нуждаются в пояснениях. «Системность» является не просто свойством целостности и неаддитивности, как понимают обычно этот термин, а сложным единством, сочетающим свойства целостности и расчлененности, интегрированности и выделенности частей вместе с их дифференциацией. Свойство системности, объединяющее ряд атрибутов, может быть признано комплексным атрибутом.

Термины «информационные системы» и «системы информации», встречаемые теперь все чаще, кажутся синонимами, но первый из них обычно употребляется совсем не в том смысле, какой очевиден во втором. «Информационными» называются машины, организмы и вообще материальные системы, способные принимать, хранить, перерабатывать и использовать информацию для своих основных функций, т. е. по признаку существенного отношения к информации. Неоднозначность усугубляется тем, что и второй из этих терминов иногда применяют в таком же значении. Например, «системами информации» называют аппараты информационной службы на крупном предприятии. Если информация используется больше всего для управления, то это «кибернетические системы», но чаще их называют «информационно-управляющими» системами. Важное практическое значение приобрели «информационно-поисковые» и «системы отражения информации», используемые в сочетании со способами ее сжатия, «компрессии». Последняя основывается на отборе минимума достаточно представительных, «репрезентативных» знаков и знаковых систем или их «сигнатурных» фрагментов, необходимых для ускорения анализа данных, получаемых теперь в огромных количествах при некоторых физических и других исследованиях, в работе служб управления, при военных действиях и в научно-технической литературе. Такое использование термина «информационные» отчасти оправдано тем, что в этих системах информация тесно связана с «целью» всей их работы; они принадлежат к числу «функциональных систем», а всякая функциональная система устроена и действует, прежде всего, в соответствии с определенной целью или (в живой природе и автоматах) «квазицелью».

Прежнее определение «информации», широко распространенное и ныне в обычной речи, относилось ко всякому знанию, вообще — к передаваемым или получаемым и хранимым сведениям. Оно допускало только расплывчатые представления о ее количестве и качестве (в частности, ценности). Развитие техники и теории информационной (а не вещественной или энергетической) связи, или просто «связи», от быстродействия и точности которой столь существенно зависит вся жизнь современного общества и особенно управление, заставило искать, прежде всего, количественную меру для объективной оценки «пропускной способности», «потенциала» и степени точности в работе «систем передачи ин-

формации». Такая мера и соответствующие методы были найдены в 20-х и обобщены в 40-х годах.

Но количественной мерой информации в статистической теории (К. Шеннон) и в некоторых других непосредственно оценивается лишь разнообразие и сложность отображаемых объектов. Остальные характеристики содержания, которые можно назвать качественными характеристиками, прямо не отображаются с помощью этих методов. Не оценивается и такая специфическая характеристика содержания как структура системных объектов, а тем самым и системность самой информации. Для разработки же общей теории информации эта характеристика становится, как полагают некоторые специалисты, главной, ведущей.

Поэтому предварительным условием создания общей теории информации становится, по нашему мнению, методологический анализ постановки вопроса о качестве информации и прежде всего о роли ее структуры, системности. Проблема качества информации и поиски той ее меры, где могут соединиться количественные и качественные определения, связаны с вопросами о собственной ее структурности, а в силу коррелятивности понятий структуры и системы — также с понятием системности информации.

Эта проблема не могла не привлечь внимания и биологов. Качество информации, приобретаемой индивидуумами и популяциями, для биосистем всех уровней имеет самое насущное значение. Более того, именно в живой природе и началось развитие информации не связанной, а передаваемой, столь необходимой для всех самоуправляемых объектов и для управления вообще. «Современная теория информации,— писал И. И. Шмальгаузен, подразумевая классическую теорию,— не обладает методами для оценки качества информации, а в биологии оно имеет нередко решающее значение» [1968, с. 203]. В биосистемах подвижная информация становится «интегрированной»[1] [см.: Камшилов М. М., 1971], накапливается в определенных узлах связи, где приобретает собственную организованность и способности выполнять функции организаторов. Генетики первыми из биологов, насколько нам известно, стали употреблять термин «системы информации»; примечательно, что исследования единиц и групп единиц генетической информации проводятся и в молекулярной биологии. Интересны в данном отношении новые тенденции в биофизике, где в самые основы методологии исходных понятий и теоретических принципов вводится идея единства и «дополнительности» двух подходов — энергетического (вообще физического и физико-химического, особенно на молекулярном уровне) и структурно-информационного. Эти синтетические и вместе с тем дифференцирующие тенденции, выходящие за рамки «негэнтропийного» термодинамического под-

[1] Близкое понятие «сгущения связей» М. М. Камшилов использовал в тезисах «Эволюция организованности» [1971]. Общие сведения о концепциях генетической информации читатели найдут в книгах М. Е. Лобашева (1966) и Н. Н. Жукова-Вережникова (1966).

хода к биологической информации (Э. Шредингер и другие авторы), теперь обобщаются на основе понятия «элементарного биофизического явления», т. е. акта или процесса [см.: Полянский Ю. Н., 1972, с. 111]. Необходимо учитывать, что в этих тенденциях понятие информации пока еще связывается преимущественно с понятием лишь непосредственных (молекулярных и цитологических) структур, а не с понятием собственной, относительно самостоятельной структурности информации; но хотя для ее «надсистемности» или, как начинают говорить, «метасистемности» в таких представлениях пока еще нет места, понятие собственной «системности» информации получило в генетике вполне отчетливые выражения.

Системность информации как существенное свойство ее высших видов, естественно, привлекает наибольшее внимание в исследованиях социальных ее форм, так как в обществе ее значение не только больше, но и гораздо многостороннее. Такие виды информации, как научно-техническая, административная и пр., часто используются в общих теориях как основной материал. Количественные исследования в этой области не становятся менее необходимыми. Наоборот, их значение («абсолютное», а не относительное) возрастает, потому что различными «информационными службами» общества накапливаются все возрастающие ресурсы информации. Для определения эффективности их использования требуются количественные критерии. Интересно, что для таких критериев используются легко измеряемые, но иной раз очень сложные по собственным структурам и смысловому содержанию единицы; каждая из них может быть системой социальной информации, но предыдущего «промежуточного» уровня. С аналогичным положением встречается и генетика, открывая сложные собственные структуры генов как основных «элементов» систем генетической информации. Такие системы социальной информации могут быть закодированы, скажем, в определенных «документах», таких, как материалы аппаратов управления. Эти единицы подсчитываются также независимо от их смыслового содержания (такого рода критерий предложил А. М. Лосев [1971]). Но вместе с тем все большее значение приобретают в этой области и проблемы многоярусной «иерархии», координированности и собственной организованности как самих систем социальной информации, так и тех узлов и блоков, где отбираются, перекодируются по мере надобности, устойчиво хранятся и в то же время должны оставаться достаточно мобильными грандиозные ресурсы этой информации. Это не только линейная соподчиненность; как и в биологических объектах, но в более многообразных и богатых содержанием выражениях, структуры многоуровневых информационных образований включают ряд других типов координации и субординированности [см.: Малиновский А. А., 1964].

Естественно, в этой области исследований лучше разработана и постановка проблем определения качества информации.

Советский математик Ю. А. Шрейдер [1965; 1971] предложил модель понятия семантической информации. Введя обобщение и преобразование старого термина «тезаурус» (сокровище запаса знаний), он показал, что накопленная информация изменяется при приеме новой информации и в то же время влияет на ее прием, эффективность ее обработки и использования. По измерению тезауруса можно определить количество семантической информации. Независимо от конкретных особенностей методов количественных определений тезауруса, роль последнего значительна для анализа вопросов «управляемости», о которой нам уже приходилось говорить в связи с оптимальным управлением.

В социальной области более разработан и вопрос о классификации информационных образований. Он был поставлен в книге Ф. П. Тарасенко [1963], но пока еще типы информации не подразделяются в пределах таких областей, как биологическая или социальная. При этом в общих классификациях, как отмечает теперь А. Д. Урсул, обычно не учитываются (хотя на практике используются) различия систем информации по характеру их активности или по функциям. Между тем, в «больших системах» уже оказалось необходимым выделить функции и блоки, например, информации *«преобразующей»* [см.: Горский Ю. М., Урсул А. Д., 1970].

Не следует недооценивать и роль запасов информации в аппаратах «памяти». Они составляют главную массу информационных образований (узлов, скоплений, потоков) в тех частях «ноосферы», совокупность которых недавно была названа «инфосферой». Детальнее всего вопросы такого рода обсуждаются в области изучения научно-технической информации, роль которой нет надобности пояснять. Вопросы ее классификации тоже обобщаются [см.: Хурсин Л. А., 1971]. По мнению автора, классификации информации, по существу, соответствуют вопросам классификации «наук». Нам кажется, что речь идет скорее о системах «научного знания»; наука включает, конечно, в процессы «деятельности» особого типа. В этой области информация предстает в виде содержания результатов и проблем науки и конструкторской деятельности,— содержания, являющегося системным по своему состоянию, все более активным по своим организаторским функциям. Объект исследования отчетливо осознается именно как системы информации. Актуальность таких исследований вызвала к жизни обширную литературу; разрабатывается и специфическая методология. Но ее вопросы уже выходят за пределы узкоспециальных задач; обобщению этих вопросов посвящена, в частности, статья Капустяна В. М. и Махотенко Ю. А. [1971].

Естественным этапом развития подобных исследований явилось возникновение новой научной дисциплины — информатики [см.: Михайлов А. И., Черный А. И., Гиляревский Р. С., 1968]. Вопрос о расширении предмета этой дисциплины обсуждается в статьях Семенюка Э. П. [1971] и Соколова А. А., Мансурова А. И. [1971]. Ее основным предметом остаются пока системы информации лишь

одного типа, научно-технической. Но в последние годы вновь усиливается стремление создавать общую науку об информации. «Вновь»,— потому что А. А. Харкевич в 1962 г. и Ф. Е. Темников в 1963 г. уже выступали с идеей общей «информологии» или «информатологии»; теперь к ней предполагается перейти в порядке расширения уже существующей науки. Но стремясь дать универсальные определения, исследователи снова ослабляют внимание к вопросам о роли собственной организованности и системности информации.

По-видимому, для объективных оценок ее качества надо будет учитывать также эффективность ее организаторской работы в соответствующих узлах, аппаратах. С этой целью можно было бы ввести понятия «организационной энергии» и мощности. Для способности совершать организующие действия легко подобрать косвенные, но зато доступные измерению показатели,— аналогично тому, как это сделано, например, для «структурной энергии» в химической физике (такая энергия измеряется по количеству тепла, выделяемого или поглощаемого в растворах при синтезе или распаде различных соединений). Ясно, что внешние проявления любой активности зависят больше всего от собственной организации объектов, обладающих данной формой активности. Поэтому системность информации при определенных условиях может повышать эффективность ее внутренней и внешней (для носителя) организаторской функции.

Рассматривая эти схематически обрисованные тенденции в их совокупности, мы видим, что в них выдвигается, обособляется и «конструируется», по сути дела, новый «системный объект». Это информация, используемая для управления и приобретающая состояния собственной организованности и активности. Им соответствует общее понятие систем информации, выполняющих функции организаторов, а также ряд частных понятий таких систем, характерных для процессов управления на разных уровнях.

В методологическом отношении это как бы «пересечения» двух широко распространенных подходов — системного (системно-структурного) и информационного — между собою и с некоторыми другими, прежде всего с историческим. Действительно, именно развитие систем информации в живой природе и обществе создает самые содержательные основы преемственности и «развития развития», самые полные выражения «историчности» сложно организованных объектов. В таком смысле общее понятие системности информации, синтетичное по собственному своему содержанию, выполняет методологическую функцию синтеза разнородных идей и методов исследования.

В дополнение к вопросу о необходимости «системно-исторического» подхода надо поставить, очевидно, и вопрос о необходимости «системно-информационного» подхода.

В нескольких докладах и статьях 1971—1973 гг. мы попытались наметить линии исследования трех основных ступеней системности

информации — генетической, зоопсихологической и социальной. В этих докладах был предложен термин «инфы» (системы информации).

«Метасистемность» информации и понятие гиперструктуры

Согласно наиболее распространенной у нас концепции «существенной связи» информации и отображения (Павлов Т. Д., Берг А. И., Бирюков Б. В., Новик И. Б., Тюхтин В. С., Украинцев Б. С., Урсул А. Д. и др.), равно как и по некоторым другим истолкованиям сущности информации, ее сгущения и даже высокоорганизованные системы не могут существовать сами по себе. Подобно энергии и отражению, информация существует всегда только в каких-то материальных носителях. Но и она может переходить с одного носителя на другие. Более того, информация чаще всего «представляет» в данном носителе, как и вообще отражение, иные объекты, внешние для данного объекта-носителя и часто коренным образом отличающиеся от него. Независимо от вопроса о возможности «внутреннего» для него происхождения информации, а также о правомерности понятия структуры как «связанной» внутренней информации (как информации «в себе»), надо признать, что в информации обычно представлено нечто «чуждое» природе ее непосредственного носителя, какою та была до образования в нем данного сгущения «свободной», легко отчуждаемой или мобильной информации (как структуры «от» и «для» других объектов). Такая информация становится частью новой природы ее носителя. В нем выражено специфическое единство непосредственного и опосредованного. В частности, это единство структуры «знаков» и их «значений».

Аналогично понятию «систем в системах» понятие систем информации должно включать и понятие «структур в структурах» ее непосредственных носителей. По отношению к последним это сверхструктуры, «гиперструктуры». Как вообще все знаковые системы, инфы обычно обращены к чему-то большему, чем их вещественные носители до проникновения в них (или до искусственного внесения в них, на их поверхности и т. п.) определенных видоизменений, модификаций геометрических, физических и прочих «непосредственных структур», или просто структур. Эти модификации кодируют обычно как бы проекции с более высоких уровней сложности и организации, но также и обратные проекции на эти уровни (программы их изменений, планы и пр.), на более обширные «сферы деятельности». Тогда инфы придают своим непосредственным носителям, особенно если тем свойственны сложно организованные формы активности, нечто от этих более высоких уровней,— отблески и проблески событий, прежде всего, в «надсистемах» данных носителей в тех «более обширных» системах, «метасистемах», куда эти носители включены как элементы. Тогда каждый такой носитель есть «нечто большее чем он сам»,

как писал Лев Толстой о человеке. В человеке возникает и развивается единство индивидуального и видового (как в биосистемах), а в обществе — личностного и общечеловеческого, «родового», социального. Разные уровни как бы совмещаются в инфах, проникают один в другой, становятся в таком смысле «синкретными».

Это облегчается кодированием. Тогда узлы и структуры информации (гиперструктуры ее непосредственных носителей) проникают на уровни сравнительно простых частей данной «метасистемы» этих носителей, а те становятся отображающими элементами «рефлексивных систем». Свойство рефлексивности, конечно, тоже развивается, и соответствующие гиперструктуры приобретают различные типы информационной «преемственности организации», или преемственности информации, усиливаемой вычленением каналов связи, внутренних (генные связи и память) и внешних для единичных носителей (например, передача навыков воспитанием), но всегда внутренних для их «метасистем». Впрочем существует целая «иерархия» метасистем. Например, по отношению к молекулам веществ-носителей генов это клетка, многоклеточный организм, популяция или семейно-стадная группа и т. д. На основе развития форм преемственности информации «относительная самостоятельность» ее системных образований возрастает. Инфы могут существовать только в материальных носителях, но законы преобразования и развития такой информации становятся все более специфичными, все менее совпадают с теми законами, которые присущи изменениям их непосредственных носителей, взятых вне условий включения в данную серию метасистем, т. е. только в своем единичном, относимом к настоящему. Благодаря преемственности информации, в инфах и их преобразованиях могут быть выражены некоторые особенности тех периодов существования надсистем, когда еще не было данных частных носителей (например, индивидуумов того или иного уровня организации), и могут быть запрограммированы и даже моделированы (скажем, в планах переустройства общества) результаты тех событий, которые еще не происходят в них или в их надсистемах (в надорганизменных биосистемах или в обществе).

«Центр тяжести» в названных выше единствах непосредственного и опосредованного не остается постоянным. Он смещается по мере развития как самой информации, так и носителей и метасистем последних,— в сторону преобладания функций и значений опосредованного и надсистемного. Вероятно, это можно будет доказать в общей теории организаторов, которая, нам кажется, необходима. Тогда можно будет получить ряд известных положений, пока еще принадлежащих к уровню «эмпирических обобщений», в качестве частных следствий дедуктивно-номотетического типа. Например, это позволит усилить положение о примате биологического над физико-химическим в развитой для своего уровня (например, для уровня многоклеточного организма животного) биосистеме.

Если понятия инфов и гиперструктуры рассматривать в их соотнесенности с понятиями непосредственных носителей и надсистем, то известные общие определения «системы» и «структуры» оказываются недостаточно адекватными. Действительно, они включают лишь представления о связях и взаимодействиях между собственными элементами *данной системы, внутренних для нее* и только непосредственных. Недостаточными становятся и традиционные положения о подчиненности частей и элементов целому; приобретая инфы (в результате естественного отбора или «индивидуального научения»), некоторые части и единичные элементы могут сгановиться центральными и частными организаторами своей метасистемы. Недостаточны тогда и положения о сущностной или «качественной» специфичности целого по сравнению с природой частей: в инфах и гиперструктурах частей специфичность целого может быть представлена гораздо полнее, чем она выражена в изменениях непосредственных структур частей.

Эти производные, опосредованные «системы в системах» и «структуры в структурах» приобретают, особенно на высших уровнях организованности и активности, более важное значение, чем их собственные исторические основы и «физические» носители. Никогда не отрываясь от них, инфы, тем не менее, развиваются в относительной, но все более существенной самостоятельности. Это выражено и в реальной выделенности каналов информационной *преемственности, филогенетической и социальной.* По ним обязательно передаются энергия и вещества, но с ними, и это главное, передается все более организованная и организующая информация, от которой во все более существенном зависит активное сохранение и воспроизведение живого.

Только благодаря всему этому (но лишь в таком смысле) развитие информации приобретало собственные специфические законы и *закономерности изменения и развития. Лишь на этой основе и* в таких пределах информация «связанная» и «внутренняя», характерная для неживой природы, могла начать историю своего реального «освобождения» от узкой связи с единичными вещественно-материальными носителями, к переходам ко все более мощным организаторским воздействиям на другие объекты в метасистемах все более высоких порядков.

Биологические ступени системности информации

История инфов начиналась, вероятно, с первичным зарождением жизни и знаменует собой ее становление; переходы от «предбиологических» систем к живым начинались, несомненно, именно с образования первичных систем информации, прежде всего — генетической.

Оно было связано, вероятно, с уникальной, но простой в принципе историей превращения «случайных апериодических полимеров» определенных веществ в носителей метахимической, биологи-

ческой информации. В условиях Земли это были, как предполагают, прежде всего полимеры нуклеиновых кислот и белков, способные объединяться в самоорганизуемые группы, комплексы без управления извне. Во взаимосвязях с подходящими предбиологическими образованиями, включавшими, вероятно, избирательно-проницаемые мембраны, определенные расположения звеньев, «первичные» (остова макромолекулы) и более усложненные структуры этих полимеров (спиральные, свертывания спиралей и пр.) после определенной селекции становились уже необходимыми. Первичные биохимические структуры нуклеиновых кислот и оказались наиболее пригодными для функций непосредственных носителей единиц и групп единиц генетической информации, а высшие, в особенности — «конформационные» структуры белков, обычно вместе с определенными другими веществами (витаминами и пр.),— наиболее пригодными для функций частных организаторов важнейших биохимических процессов (ферменты). Называемые «ускорителями» реакций, эти гиганты молекулярного мира, чаще всего включенные в мембраны клеточных органелл, на деле не просто ускоряют, а именно организуют определенные, все более специализированные звенья цепей химических реакций.

Следует подчеркнуть важное обстоятельство, о котором обычно забывают: это полимеры не только «апериодические», они вместе с тем и строго периодические. Так, в последовательностях боковых групп атомов, «радикалов» («остатков» азотистых оснований), *периодичности действительно нет, но в последовательностях* тех частей нуклеотидов, которые прямо связываются между собою в цепочку «остова», монотонно повторяются одни и те же сочетания «остатков» (на деле это главные части соответствующих молекул) определенного сахара и фосфорной кислоты в полимере нуклеиновых кислот. Как правило, боковые радикалы не влияют на расположение звеньев этого полимера, а прямые связи между различными нуклеотидами (через «остатки» сахара и фосфорной кислоты) совершенно одинаковы. И если мономеры предоставлены сами себе в подходящих условиях раствора, то они могут соединяться между собой практически в любых сочетаниях и последовательностях сочетаний. Опыты «в пробирке» воспроизводят такие спонтанно образуемые полимеры, действительно «случайные» в данном отношении. Но именно последовательности сочетаний их звеньев кодируют в биосистемах единицы и системы генетической информации. Нет таких принципов и законов химии, которые могли бы объяснить данное сочетание этих звеньев. Отсюда следует, что состав и собственную упорядоченность этих систем нельзя «вывести» из принципов и законов химии. Признания такого рода встречаются теперь и в биохимической литературе.

Для сравнения отметим, что более сложные, чем исходные материалы, молекулы различных веществ, а также кристаллы и многие другие образования, возникают в результате накопления единиц исходного субстрата (те могут возникать без преемствен-

пости индивидуальной организации), их объединения под влияниями различных интегрирующих анизотропных взаимодействий между ними (например, взаимного притяжения противоположных по «знаку» ионов) и с непосредственно окружающей их средой жидкого раствора, допускающей достаточную, но не чрезмерную свободу перемещений молекул. Их не надо заставлять, они не нуждаются в специальном управлении, объединяются в порядке самоорганизации субстратов как элементов «координационных» или кооперативных, а не «субординационных» систем. Напротив, инфы, даже самые примитивные, возникают и развиваются совсем иначе,— во всяком случае, не в порядке непосредственных взаимодействий между своими исходными элементами или их носителями.

В самом деле, группы генов (например, в хромосомах) и вообще единиц информации, а значит, и «знаков», представляющих в том или ином узле, блоке, механизме эти единицы, образуются не потому, что они «притягиваются» одна к другой. Эти группы, системы единиц информации могут образовываться в подходящих носителях только в результате гораздо более сложных процессов, имеющих место в более обширных системах, чем эти непосредственные носители,— в их метасистемах (например, в популяциях и видах), притом нередко не одного, а нескольких восходящих уровней. Такие «метасистемные» события, как правило, лишь опосредованно (как «посредством» естественного отбора) направляют данные процессы интеграции в информационных узлах. При определенных видах биологического «усиления», основанных на высоких уровнях организованности их надсистем и самих этих носителей, возникают и возможности «управлять» деятельностью последних.

Собственно-управление,— его можно было бы назвать информационным управлением (в отличие от «направляющих» воздействий посредством физических сил и пр.),— существенно отличается от всех других типов зависимостей и направляющих, в частности, организующих воздействий. Следует учитывать также, что те возможности управления «сверху», от более обширного целого, или от более высоких уровней организации, какие существуют у клетки (например, в виде пресловутых «обратных связей» от белков, прежде всего от ферментов, к некоторым генам, недавно обнаруженных вопреки известной «догме» генетики о переходе информации только от генов к белкам), остаются еще очень ограниченными.

Если говорить о возможностях организующих влияний надорганизменной системы (популяции, экологической системы) на изменения и на всю деятельность, скажем, индивидуальных генотипов, то эти влияния могут осуществляться почти исключительно не прямыми информационными или другими воздействиями, а только воздействиями косвенными, посредством естественного отбора, селективными (в отличие от общества, способного оказывать организующие и преобразующие влияния на все свои элементы любых

«подуровней», наоборот, все в большей мере прямыми воздействиями различного характера). Вероятно, именно в процессах естественного отбора или, как говорят, одной из его «предбиологических» форм и могло осуществляться фундаментальное превращение, когда какое-нибудь истинно-случайное сочетание звеньев названного полимера, индивидуализированное благодаря его апериодичности (*в указанном* выше смысле, т. е. соединяемой с периодичностью), становилось функционально связанным с другими и потому необходимым во всем статусе той или иной его метасистемы, превращаясь в носителя группы определенных единиц информации,— *уже способной переходить на другие* элементы данного образования.

Сами эти группы, системы единиц информации, прежде всего генетической, наоборот, получали в наличной функциональной связи возможности и способы уже не косвенно, а прямо управлять определенными процессами в своих надсистемах. Это относится не только к функциям собственно-формообразования (например, морфогенеза в эмбриональном развитии), но также и к функциям управления работой развитого организма, «эргонтическим» [Шмальгаузен И. И., 1968], особенно к общему их регулированию во всей физиологии клетки и многоклеточного. Однако у животных ведущая роль в этом переходит к информации новой, второй ступени (см. ниже).

Повторим, что вещественно-энергетические воздействия при этом остаются необходимыми, но перестают быть главными в содержании управления, которое становится преимущественно организационным. Оно включает различные по своему непосредственному содержанию избирательные ограничения, налагаемые на собственную активность клеток и органов. Иными словами, достаточно лишь стимулировать или тормозить «местную самодеятельность», включать или выключать определенные циклы саморегулируемых реакций минимальными по физической энергии и простейшими по составу действиями на ключевые, узловые звенья этих процессов. Как известно, в клетке и ткани или органе одновременно (и разновременно) протекают огромные количества очень разнородных химических реакций. И ясно, что никакие «миллионы» генов (это предположение некоторых генетиков кажется нам искусственным) не могли бы обеспечивать ни «текущую» работу организма, ни формообразование, если бы в распоряжении природы не было каких-то способов кардинального упрощения задач такого рода. Демонстративный пример, давно известный, дает морфогенез целой системы вторичных половых признаков у млекопитающих и птиц, зависящий от сравнительно ничтожных количеств определенного гормона. Это одно из выражений свойства, еще мало освещаемого кибернетикой,— «управляемости». Оно зависит от ряда условий, в том числе от собственной организации управляемого объекта и от «информационного контакта» с данной управляющей *подсистемой, вообще от «коммуникабельности» объекта управления*

в данных условиях. Принцип, который фундаментально упрощает задачи такого типа, оказывается, как уже отмечалось в литературе, принципом «единства управления, управляемости и самоорганизации» частей. При этом используются также явления, отображаемые важным понятием генетики — «нормы реакций», а кроме того, вероятно, и теми, какие можно определить как нормы самоорганизации частей.

Итак, информация, зафиксированная в известных молекулярных и цитологических компонентах клетки, по своему происхождению, по своим «значениям» и по своим функциям преимущественно «надсистемна» (метасистемна), принадлежит не самим ее непосредственным носителям, а организму как целому, популяции и т. д. Она еще связана только с вещественными носителями определенных видов, но может передаваться другим молекулам, «переписывается» на них (транскрипция), перекодируется и как бы перевоплощается. Возникают специфические формы «перевоплощающихся» (лучше говорить «перевоплощаемых») систем, класс которых выделил Б. С. Флейшман. Это относится только к системам информации. Само существование процессов такого рода придает единицам генетической информации содержание, далеко выходящее за пределы молекулярного и смежных с ним уровней, но это лишь такое содержание, которое нельзя «увидеть» в конкретных структурах, где оно «представлено» (закодировано, запрограммировано и т. п.).

Вообще говоря, значения и «смысл» знаковых систем, повторяем, не могут ограничиваться геометрическими, физико-химическими и прочими «непосредственными структурами» групп знаков, почти всегда метасистемны по отношению к последним. В таком смысле можно сказать, что информация как определенные особенности содержания различных форм отражения локализована и вместе с тем не локализована в данных своих вещественных или вообще субстратно-материальных (в отличие от системно-материальных, в том числе и метасистемных) носителях, т. е. «пространственна» и «непространственна» в обычном значении этих слов.

Значит, если гены понимаются не в смысле частиц вещества, как считалось ранее, а в смысле единиц информации, зафиксированных в молекулах посредством определенного кода, то «увидеть» определенную часть такой молекулы — это совсем не то же самое, что *«увидеть ген»: его нельзя увидеть, его можно лишь прочитать*, подобно значению, например, группы букв и слов найденной на камне древней надписи. Генетика давно показала, что гены приходится изучать не только (и даже не столько) по их экстенсивным, *непосредственно-пространственным структурам, признакам*,— это необходимо для познания способов, механизмов их действий,— но также (и в главном) по результатам их влияний на процессы, протекающие в их метасистемах, по их функциям в более обширных биосистемах, т. е. по выражениям свойств «интенсивного», дея-

тельного и прежде всего — по их свойствам в качестве организаторов.

Все это не означает, что непосредственно выраженные свойства вещественных носителей такой информации не играли существенной роли. Напротив, роль вещественно-материальных носителей отражения, характеризуемого информацией, всегда остается необходимой, и определенные свойства этих носителей обязательны. Их значение было тем более велико, что информация генетическая отличается, как уже говорилось, сравнительно узкой связью со своими «химическими», вещественными носителями. Они должны были отличаться определенными сочетаниями свойств, благодаря которым они оказались некогда избранниками предбиологической эволюции.

Принципы их особой годности в указанных отношениях были выяснены генетикой еще до открытия основного генетического шифра; но теперь они конкретнее. В частности, это не только способность самоудвоения (аутореспликации) исходной последовательности сочетаний; это также и способность оказывать различные влияния на клеточный обмен веществ, передавая информацию, закодированную в данной последовательности звеньев, другим вещественным носителям, сначала — остовам синтезируемых молекул белка, становящихся потом ферментами, важнейшими частными организаторами клетки. Через биосинтез ферментов и осуществляются главные организующие влияния единиц генетической информации, генов, на развитие и на всю жизнедеятельность клеток и более сложных биосистем,— разумеется, во взаимодействиях с влияниями внешней для этих систем среды. Иначе гены «не умеют» действовать, как через каналы «вещественной связи», предполагающие транспорт веществ («транспортативные» связи, по Р. Джерарду, в отличие от связей «трансмиссивных», передающих возбуждения, в особенности — сигнальные, т. е. несущие не столько физические изменения, сколько определенную информацию).

Важное значение имели, кроме того, неограниченные возможности комбинаторики, возникновения практически любых сочетаний нуклеотидов. Это главный источник наследуемых изменений. Эти уникальные вещества, которые могут включать десятки тысяч звеньев, соединяют в себе свойства апериодических и вместе с тем периодических полимеров. Благодаря периодичности зависимость этого вида информации от таких веществ становится такою, что это равносильно независимости преобразований информации от того же вещества: эти преобразования практически не стеснены его свойствами. Такие свойства и необходимы,— они компенсируют упомянутую ограниченность узкой связи генетической информации с молекулярными носителями. Получается так, что новые устойчивые свойства непосредственных носителей генетической информации определяются более всего не законами физики и химии, а связями и соотношениями метасистем этих носителей — организмов, популяций, видов и экосистем.

Поэтому принципы и закономерности, характерные для инфов первой биологической ступени, не переставая быть неразрывно связанными с определенными физическими и химическими законами и процессами, уже на самых примитивных стадиях биологической организации приобретали в процессах эволюции относительную, но все более существенную самостоятельность, независимость от своей собственной исторически-первичной и вещественной, субстратно-материальной основы.

Вторая ступень биологических систем информации охватывает содержание зоологических форм психики. Это различные «алгоритмы» нервной и внешней деятельности, а также ее «конструкционные» основы, выраженные в результатах и факторах эволюции или индивидуального развития мозга. У человека этому соответствуют гораздо более сложные и разнообразные виды психической деятельности; и ее результаты образуют целые миры идей, понятий, научных теорий, навыков и мотивов активности, а на уровнях общества — еще более обширные потоки информации, ее узлы, массивы структурных образований и ценностей. Но все это не имеет смысла без повседневной живой связи с теми ячейками субъективности, собственно-психического отражения внешнего мира и собственного индивидуализированного состояния, которые возникали еще у животных и проходили в природе этапы существенных изменений.

Тут мы переходим к области, где остается гораздо больше невыясненного и спорного, чем в исследованиях инфов первой ступени. Это относится, в частности, к вопросам о характере кода и элементарных единиц такой информации, наименее доступной прямому исследованию. Несомненно, у нее есть свои специфические серии уровней организованности, но еще не решен вопрос о тех уровнях биологической организации, на каких возникает «собственно психическое». Многие психологи и нейрофизиологи убеждены, что элементарные психические явления возникают только на уровнях не ниже «нервных сетей» или отделов головного мозга в их взаимосвязях, т. е. надклеточных образований мозга в их взаимодействиях между собой и с остальными органами первной системы и всего организма. В индивидуальном развитии все они зависят, разумеется, от генетических систем информации и от взаимодействий со средой обитания животного и семейно-стадной группы. Но «целостность» в ее развитой форме, повторяем, вовсе не исключает, а наоборот, предполагает дифференцированность и притом выделенность частей; ключ к решению данного вопроса, нам кажется, можно найти скорее в признании того, что психические процессы также становятся выделенными, приобретая относительную самостоятельность именно благодаря развитию форм целостности организма, и что выделяются эти процессы не в одной, а во многих формах, причем не на одном, а тоже на разных уровнях. Менее обоснованными кажутся нам попытки либо доказать, что непосредственным носителем психической деятельности может

быть лишь «весь» организм как говорил еще Л. Фейербах, либо вести поиски психики в собственном смысле слова (а не только чего-то существенно «сходного» с нею, как писал В. И. Ленин) в молекулах или даже в недрах атома, элементарных частиц и еще более таинственного пока «вакуума».

Пути синтеза менее крайних концепций в этой области, нам кажется, необходимы и в какой-то мере уже доступны. Основной из них — *исследования связи систем информации как содержания* нервной и собственно психической деятельности с непосредственными ее носителями и участниками не на одном, а на различных структурных уровнях. Такие исследования дают интересные результаты. Тут остается еще многое выяснять, но принципиальная «сторона» дела не вызывает сомнений: связь эта доходит до самых глубинных уровней, вплоть до молекул и даже электромагнитных полей. Ясны и общие основания этого удивительного влияния элементарных физических и химических изменений на содержание сложнейшей деятельности головного мозга. *Причины этого просты* и вытекают из общих принципов системной организации материи. Чем сложнее организована система, тем разностороннее и содержательнее взаимосвязи между ее структурными уровнями. Среди этих связей важную роль играют именно информационные.

Так или иначе, функциональное, а не просто физическое включение подходящего для этой роли вещества, конечно, не могло не приводить к существенному возрастанию значимости его участия в деятельности его метасистемы, особенно если это многоклеточный организм с четко *дифференцированными частями. Транспортировка* молекул остается необходимой. Транспортативные связи дополняются и надстраиваются, особенно в нервном волокне и в отделах нервной системы, трансмиссивными связями, гораздо более быстродействующими и с несравненно большей пропускной способностью. Предполагают, что основным кодом в деятельности мозга служит даже более простой, чем генетический, двоичный код состояний возбуждения и торможения, действия и бездействия нейронов; если так, то в этом — одно из доказательств не молекулярного, а по меньшей мере *клеточного уровня непосредственных* носителей зоопсихологической и нервной информации. Однако ближе к истине, вероятно, предположение, что в деятельности мозга используется не один, а несколько и притом разноуровневых кодов; использование нескольких разнородных кодов хорошо известно не только в обществе, но и на уровнях генетических информационных процессов в клетке («трансляция»). А главное, такая информация все более подвижна, все свободнее от узкой связи с единичными вещественными носителями и каналами их транспорта.

Еще одно существенное *отличие второй ступени зоопсихических* систем информации состоит в том, что они не сохраняются и не воспроизводятся непрерывно, как генетические. Правда, инфы мозга развиваются в каждом онтогенезе на основе подготовленной эволюцией и наличными генотипами, а в условиях надорганизмен-

ных биосистем (особенно — семейно-стадных групп у высших животных) — также и на основе «непрерывного» филогенетического воспроизведения индивидуумов как своих «элементарных» носителей. Но в каждом онтогенезе эти *системы* информации развиваются по сути дела заново. Нет закона сохранения для систем вообще и для систем информации в частности. Если инфы можно рассматривать как материализованные «души» высоких уровней организованности и организующей активности, то «переселение» их пока неосуществимо и они не вечны. Передаваться другим «системно-материальным» носителям могут, при современных способах и средствах, только «элементы» инфов второй биологической ступени; в новых носителях эти инфы как сугубо неаддитивные целые возникают без прямой преемственности на уровне *целого*.

В процессе такой передачи, даже при развитии ряда путей «падгаметной» филогенетической преемственности (включая зоологические, а в обществе и более совершенные способы воспитания или обучения потомства), неизбежно утрачивается еще одно важнейшее свойство систем информации высших ступеней — их «самоотнесенность». Без нее, как нам уже приходилось говорить, нет даже и самых примитивных проявлений собственно-психического.

Уже на биологической ступени развития психики приобретают все большее значение также и *различные способы внешней* (для особей) передачи информации. У животных она ограничивается сигналами в пределах наличной в данный период популяции, объединения еще рыхлого, скорее «координационного» типа, чем типа «сверх-организма», каким считали вид, группу, популяцию, некоторые биологи прошлого века и некоторые современные. Однако и в популяции существуют «пучки» филогенетических линий, где настоящее связано с прошлым и будущим преемственностью, включающей воспроизведение генетических систем информации, а также все более *значимые связи посредством обучения. На биологических* уровнях развития форм поведения, как известно, сохраняется еще довольно узкая зависимость ряда «алгоритмов» от генетической информации. Но возникают и достигают значительного развития также противоположные явления. Они выражены в разнообразных формах высшей нервной (и внешней) деятельности и зоологического воспитания; те не заменяют, а изменяют и дополняют функции «врожденных» форм поведения и самих систем человеческой информации.

Схематически *обрисованные проблемы развития систем информации* выдвигаются и обсуждаются обычно вне их взаимной связи. Быть может, их общее значение и пути их дальнейшего исследования станут несколько яснее, если подходить к постановке и анализу этих проблем, отправляясь от предположения об их существенном и все более развитом единстве, таком, которое не исключает, а предполагает многообразие различий. В этих различиях и в этой их общности выражены ступени развития системности и метасистемности информации, предпосылки и собственная исто-

рия «высшего продукта материи», все в большей мере способного выполнять функции организатора и выразителя активности материи. Это — деятельность инфов как содержания высших форм отражения и творчества.

Литература

Горский Ю. М., Урсул А. Д. Оптимизация и управление большими системами в энергетике.— Материалы симпозиума. Иркутск, 1970.

Камшилов М. М. Биотический круговорот. М., 1971.

Камшилов М. М. Эволюция организованности.— В кн.: Философские проблемы эволюционной теории, ч. II. М., 1971(а).

Капустян В. М., Махотенко Ю. А. Вопросы научной методологии исследования информационных систем.— Научно-техническая информация, серия 2, 1971, № 9.

Лосев А. М.— Научно-техническая информация, 1971, № 7.

Малиновский А. А. Значение качественного изучения управляющих систем для теоретических вопросов биологии.— Применение математических методов в биологии. Л., 1964.

Михайлов А. И., Черный А. И., Гиляревский Р. С. Основы информатики, 2-е изд. М., 1968.

Полянский Ю. Н. (См. в материалах: Методологические аспекты и пути формирования теоретической биологии.— «Вопросы философии», 1972, № 3.

Семенюк Э. П. К формированию науки об информации — Научно-техническая информация, серия 1, 1971, № 1.

Соколов А. В., Мансуров А. И. Информатика в перспективе.— В кн.: Научно-техническая информация, серия 2, 1971, № 10.

Тарасенко Ф. П. Введение в курс теории информации. Томск, 1963.

Урсул А. Д. Информация. М., 1971.

Хурсин Л. А. Основы теории натуральных классификаций научной информации.— Научно-техническая информация, серия 2, 1971, № 9.

Шмальгаузен И. И. Кибернетические вопросы биологии. Новосибирск, 1968.

Шрейдер Ю. А. Об одной модели семантической теории информации.— Проблемы кибернетики, вып. 13. М., 1965.

Шрейдер Ю. А. К определению системы.— Научно-техническая информация, серия 2, 1971, № 7.

НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ СИСТЕМНОГО ИССЛЕДОВАНИЯ НАУЧНОГО ЗНАНИЯ

Е. А. Мамчур

Системность составляет важнейшую черту научного знания. Если исходить из понимания системы как целостного множества взаимосвязанных элементов (вполне приемлемого в качестве первого подхода к определению системы), можно согласиться с тем, что уже простейшие виды знания, типа высказываний «металл — электропроводен» или «береза — белая» представляют собой системы: по форме они представляют собой связь элементов, расчленение которых отражает расчленение и последующее связывание в некоторое единство зафиксированного в них содержания [Щедровицкий Г. П., 1964, с. 23]. Еще более очевиден системный характер знания, взятого в качестве некоторго целого: даже при по-

верхностном взгляде на него сложный характер его состава и строения буквально бросается в глаза. Наука как система знаний естественно членится на относительно самостоятельные и вместе с тем связанные друг с другом научные дисциплины, каждая из которых, в свою очередь, представляет систему взаимосвязанных теорий. Системный характер самих теорий отмечался многими известными естествоиспытателями [Эйнштейн А., 1967, с. 200—204; Broglie L., 1941, с. 87—88], нередко предпринимавшими попытки исследовать структуру научных теорий [Дирак П. А. М., 1971; Мандельштамм Л. И., 1960, с. 349 и др.].

Однако, несмотря на очевидность системного характера знания, исследования, посвященные анализу его с позиций тех специальных дисциплин, основной задачей которых как раз является анализ объектов как систем (речь идет о системно-структурном подходе и кибернетике), очень немногочисленны. В весьма обстоятельно составленной библиографии отечественной и переводной литературы, имеющей отношение к системным исследованиям [см.: Філософські проблеми сучасного природознавства, вып. 27, 1972, с. 132—140], указаны лишь две работы, посвященные системному анализу научного знания [Йолон П. Ф., 1967; Уемов А. И., 1967]. К ним можно добавить, пожалуй, только несколько зарубежных работ, в которых сделана попытка использовать кибернетические модели для описания процесса развития научного познания [Laszlo E., 1972; 1973; Blachowich J. A., 1971].

Возможно, одной из причин подобного положения вещей является наличие широкого спектра работ логико-методологического характера, в которых системность знания в той или иной мере учитывается. На уровне методологии (здесь в смысле области исследований, специальным предметом которой является научное познание) рассмотрение знания как системы начало последовательно осуществляться уже с XVII в., когда стали складываться первые концептуальные системы точного естествознания. Некоторые особенности системного характера теории как фрагмента системы знания нашли свое отражение в методологических работах П. Дюгема, А. Пуанкаре и др. В области исследования логического строения знания (разработка которого долгое время проводилась главным образом в рамках логического позитивизма) системность знания стала специально фиксироваться с момента перехода к гипотетико-дедуктивной модели его строения. И, наконец, в соответствующих работах, ведущихся на базе диалектико-материалистической методологии, рассматриваемая особенность знания находит наиболее полное воплощение. Глубокая созвучность диалектико-материалистического метода идеям системного подхода к анализу сложных объектов не раз отмечалась в нашей литературе. Сами идеи системного анализа объектов были в значительной степени заложены в трудах К. Маркса и блестяще реализованы им в его исследованиях экономической структуры капиталистического общества.

Анализ содержательной структуры физической теории с позиций диалектического материализма проделан И. В. Кузнецовым (1967); многие важные аспекты логического строения знания нашли отражение в работах В. А. Смирнова (1964), В. Н. Садовского (1963), А. И. Ракитова (1964, 1966), Г. И. Рузавина (1972) и др., где преодолеваются недостатки, присущие подобным исследованиям, выполненным в рамках логического позитивизма.

В связи с наличием упомянутых работ логико-методологического характера может сложиться впечатление, что специальное исследование знания как системы явится простым дублированием уже полученных результатов. И в самом деле, если системный характер знания в методологических разработках учитывается, есть ли необходимость в специальном исследовании знания как системы?

Представляется, что отрицательный ответ на поставленный вопрос был бы оправдан только в том случае, если бы любое исследование системного объекта было бы системным. Задача системного исследования объекта (материального или идеального) состоит в отражении специфических особенностей его как системы в логике понятий. Нельзя, однако, забывать, что результат теоретического воспроизведения того или иного объекта зависит не только от самого исследуемого объекта, но и от используемого при этом метода исследования. (Последний в свою очередь зависит от разделяемой исследователем гносеологической позиции).

Разные подходы и методы, вообще говоря, приведут к различной реконструкции одного и того же системного объекта. Безусловно, в любой попытке теоретической реконструкции системного объекта найдут свое выражение хотя бы некоторые черты его как системы. Однако полнота и адекватность логической реконструкции объекта зависят от адекватности используемого метода. Системные объекты исследовались в познании всегда; на современном этапе развития научного знания прослеживается тенденция к исследованию системного объекта *системными* средствами. Поиски и разработка последних осуществляются в рамках специального методологического направления, именуемого системно-структурным подходом.

Если бы принципы, составляющие сущность системного исследования объектов как систем, были известны, задача адекватной логической реконструкции последних решалась бы просто. Дело, однако, осложняется тем, что в настоящий момент никто не в состоянии «со всей категоричностью сформулировать полный и окончательный список таких «принципов» [Блауберг И. В., Юдин Э. Г., 1973, с. 60] и указать со всей строгостью границы системного подхода. Последний как методологическое направление находится в стадии становления, и развитие его определяется в значительной степени теми исследованиями объектов как систем, которые проводятся в рамках конкретно-научных исследований системных объектов.

Представляется, однако, что, решая задачу поиска и формулировки принципов, составляющих суть системного исследования объектов, следует обязательно принимать во внимание одну их особенность. Речь идет об их существенно *металогическом* характере. Последний проявляется в двух моментах. 1) Рассматриваемые принципы, поскольку они мыслятся как методологические, должны выступать как *регуляторы деятельности* исследователя, осуществляющего анализ системного объекта. В качестве таковых они не могут быть найдены на том же уровне, что и регулируемая ими деятельность. В связи с этим указание на такие моменты анализа объекта, как членение его на элементы, определение границ его как системы и т. п., как на выражающие сущность системного исследования объекта, представляется недостаточным: скорее это перечисление операций, являющихся моментами *деятельности исследователя. Упомянутые операции, конечно, со*вершенно необходимы при исследовании системных объектов; однако реализация их не обеспечивает автоматически системного анализа. Принципы, выражающие сущность системного метода, должны мыслиться как *требования* к упомянутым компонентам деятельности исследователя, как условия успешного осуществления последних в свете общей задачи — системного исследования объекта.

2) В число принципов, составляющих суть системного подхода (опять-таки поскольку они носят методологический характер), должны включаться те, которые «работают» в конкретно-научных исследованиях системных объектов и, в том числе, в исследовании знания как системы. Последнее означает, что независимо от того, осознается это обстоятельство или нет самими исследователями, рассматриваемые принципы вовлекаются в процесс исследования (*по крайней мере на каждом значительном его этапе*), и что, реконструируя процесс исследования, можно обнаружить следы их «деятельности», выявив определенную тенденцию, направление процесса познания.

В числе принципов, необходимых для проведения системного исследования объектов, следует прежде всего назвать принцип целостного подхода к объекту. Насколько большое значение ему придается, видно хотя бы из того, что нередко сами понятия «системный» и «целостный» подходы употребляются как синонимы. Специфика системного исследования в самом общем виде определяется как ориентация исследователя на построение целостной картины объекта [Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г., 1970, с. 16].

Воссоздание объекта как целого невозможно без расчленения его на элементы. Принцип целостности накладывает определенные *ограничения на возможные способы членения системы:* последнее должно осуществляться таким образом, чтобы элементы несли на себе определенные свойства целого. Короче, членение системы на элементы должно быть «целостным» [Садов-

ский В. Н., 1972, с. 136]. Целостный подход противостоит элементаристскому, так же как и механистически понятому редукционизму. Суть последних состоит в отказе от объяснения специфики целого, в стремлении уничтожить (чисто словесно, конечно) эту специфику, свести ее к более низкому уровню. Значит, системный подход — это не просто констатация некоторой специфики целого, не просто указание на наличие интегративных свойств и качеств целого; это такое объяснение целостных свойств, которое в принципе исключает сведение фиксируемой специфики к элементарному уровню.

В качестве другого «системного» регулятива деятельности по исследованию объектов как систем называют принцип *иерархичности* [Садовский В. Н., 1972, с. 134]. Суть последнего в следующем: действительно системное исследование объекта осуществляется лишь тогда, когда каждая подсистема его рассматривается в свою очередь как система, а сам системный объект — как часть более широкой системы. Можно предполагать, по-видимому, что в своем проявлении рассматриваемые принципы не выступают как полностью независимые. Так, принцип иерархичности, очевидно, представляет собой условие целостного членения объектов как систем. Только учитывая тот отпечаток, который накладывают на элементы исследуемой системы ее связи (будь то генетические, эволюционные или структурно-функциональные связи) с более широкой системой, можно определить целостность, адекватно репрезентирующую свойства целого.

Очевидно, что первому из отмеченных выше требований «методологичности» рассматриваемые принципы удовлетворяют, так как они действительно лежат в плоскости иной по сравнению с деятельностью исследователя системного объекта. Чтобы убедиться в том, что они удовлетворяют и второму требованию, являясь «работоспособными», следует обратиться к истории познания; в нашем случае это будет история методологических (т. е. имеющих в качестве предмета исследования само научное познание) изысканий.

Поиски адекватной «клеточки» системы знания

Одним из основных моментов исследования знания как системы является вычленение адекватной единицы анализа. Что должно быть взято в качестве исходного компонента строения знания, того компонента, который, выступая элементом системы, способен был бы адекватно представить само целое? На интуитивном уровне современному исследователю представляется очевидным, что при анализе любой области научного знания в качестве такого компонента должна быть взята теория. Следует, однако, отдавать себе отчет, что сама эта интуитивная очевидность — результат предшествующей методологической деятельности по исследованию строения знания.

Что представляет собой теория? Вопрос этот далеко не тривиален. Для ответа на него недостаточно просто зафиксировать эмпирический факт наличия теорий или существования у них тех или иных особенностей; необходимо воспроизвести строение теорий в логике понятий. Далее имеются в виду естественнонаучные теории; характерная особенность их состоит в том, что они представляют собой гипотетико-дедуктивные системы. Последние отличаются от строго дедуктивных и формально-аксиоматических систем, характерных для логического и математического знания. Можно указать на две интерпретации гипотетико-дедуктивной теории. Назовем одну из них традиционной интерпретацией гипотетико-дедуктивной модели организации знания. Она возникла на основе абсолютизации логико-математических методов исследования строения знания. Адекватно отображая многие реальные черты структуры естественнонаучных теорий, она оказывалась в то же время неполной и односторонней. Значительный вклад в ее разработку внес логический позитивизм.

Другая — в развернутом, разработанном виде сложилась недавно; она — результат переосмысления традиционной интерпретации, «снявший» многие недостатки последней. Назовем ее нетрадиционной интерпретацией гипотетико-дедуктивной модели. Остановимся на них подробнее.

Гипотетико-дедуктивная модель строения знания пришла на смену редукционистскому этапу (такую характеристику получило направление, развиваемое в работах представителей логического позитивизма Венского кружка в среде западных философов науки [см.: Quine W. V., 1953]). Основной методологической проблемой, которая решалась позитивизмом, была проблема эмпирического обоснования теоретического знания. На этапе Венского кружка логический позитивизм пытался решать ее, как известно, выдвигая верификационистскую теорию значения. В основу верификационистского принципа значения лег логико-гносеологический вариант логического атомизма Рассела. Согласно рассматриваемой концепции, теоретический термин (или предложение) считаются познавательно значимыми, если можно указать конечное число логически совместимых предложений наблюдения, из которых они выводимы по правилам логики.

Мы не будем вдаваться здесь в подробности верификационизма: в логико-методологической, в том числе и отечественной [Швырев В. С., 1966; Ледников Е. Е., 1969] литературе эта концепция освещена достаточно подробно; здесь же была хорошо показана и ее несостоятельность. Нам здесь важно подчеркнуть следующее. Рассматриваемый этап действительно был выражением механицистски понятого редукционизма в подходе к строению знания: специфика теоретического знания как целого игнорировалась, поскольку оно просто сводилось здесь к более низкому, элементарному уровню — уровню терминов и предложений наблюдения. Вместе с тем неверно было бы утверждать, что на этом этапе

системность знания не учитывалась. Напротив, знание мыслилось как система высказываний, элементом которой является познавательно значимый термин (предложение); причем, самим термином «познавательно значимое» подчеркивалось, что оно (предложение) призвано играть роль элемента, представляющего систему. Критиковалась рассматриваемая концепция на основании следующих соображений. Указывалось, что если термины (предложения) являются познавательно значимыми только в том случае, если их удается верифицировать в указанном выше смысле (т. е. если термины и предложения удается свести к совокупности терминов и предложений наблюдения), они не могут рассматриваться как представители целого: научное знание содержит высказывания с неограниченной квантификацией (законы науки), для которых такое сведение оказывается невозможным.

На смену редукционизму пришла гипотетико-дедуктивная модель организации знания, где в качестве исходной единицы методологического анализа знания была взята теория. Посмотрим, каким образом воспроизводилась структура теории в гипотетико-дедуктивной модели [подробно разработана в следующих работах: Nagel E., 1961; Hempel C., 1966].

Каждой теории ставилась в соответствие формальная структура, которую можно получить, аксиоматизировав теорию и абстрагировавшись затем от смысла ее терминов. Формальная структура — это еще не знание; это язык, синтаксическая система. В семантическую систему ее превращает интерпретация. Термины делятся на основные — неразложимые и неопределяемые в рамках данной системы, и определяемые, тем или иным способом выражаемые через основные. Предложения в достаточно строгой дедуктивной системе бывают только двух видов: аксиомы — символические выражения, не следующие из других предложений системы, и теоремы, полученные с помощью дедукции из аксиом. В качестве элементов структуры выступают основные термины. Структурообразующими связями являются связи между основными и определяемыми терминами (определения); между основными терминами в аксиомах (в результате существования этих связей аксиомы выступают функциями основных терминов); между основными и определяемыми терминами в теоремах; и, наконец, между аксиомами и теоремами существуют логические связи импликации (вывода).

Структура теории — это ее логический скелет, который (с позиций рассматриваемого подхода) обрастает «живой плотью» лишь за счет процедуры эмпирической интерпретации. Последняя состоит в установлении связей теоретических терминов с языком наблюдения. В отличие от структурных системные элементы[1] представ-

[1] Существование различий между структурными и системными элементами на уровне системно-структурного подхода было верно подмечено В. С. Тюхтиным [1972, с. 17—18].

ляют собой понятия, наделенные смыслом, который они получают за счет связей с языком наблюдения.

Рассматриваемая модель теории исходит из иерархического характера строения последней: непосредственную эмпирическую интерпретацию получает лишь нижний уровень терминов, остальные связаны с эмпирическим уровнем лишь косвенно, через непосредственно интерпретируемые термины.

Отмеченная в рассматриваемом подходе особенность строения теории находится в соответствии с действительным положением дел в науке. В самом деле, в реальном познании путь, с помощью которого теоретические понятия соотносятся с процедурой наблюдения, очень сложен. Для многих теоретических объектов связь с опытом оказывается опосредованной многократно. Уже такие, казалось бы вполне очевидные и интуитивно ясные понятия, какими являются «скорость» и «ускорение» классической механики, связаны с эмпирической реальностью лишь опосредованно. Их вычисляют на основе данных по измерению пути и времени, которые оказываются доступны прямым измерительным процедурам посредством линеек и часов. Еще более опосредованной и сложной оказывается процедура установления рассматриваемой связи для понятий теории микромира. Одно из основных понятий теории атома Н. Бора — «переход электрона с одной орбиты на другую» — связывают с экспериментальным уровнем посредством понятия спектральной линии. Длина волны линии подсчитывается на основе закономерностей волновой теории света (по ее положению в спектре). В теории Бора этот переход электрона связан с длиной волны через энергию перехода и формулу Планка. $E=h\nu$.

Непосредственные и опосредованные связи терминов с эмпирическим уровнем знания получили название правил соответствия (С — правил). Взаимосвязанная целостность — интерпретированных посредством С-правил терминов как раз и полагается в рассматриваемом подходе тем целым, которое противостоит среде — непосредственно интерпретированному языку наблюдения.

Существенной особенностью рассматриваемой трактовки теории является то, что интерпретированной она оказывается только как целое: интерпретацию получают лишь отдельные «представители» системы; затем интерпретация перераспределяется между остальными элементами теории. Таким образом, эмпирическая интерпретация носит частичный характер. Последнее утверждение равносильно признанию наличия в системе некоторого «избыточного» содержания.

На первый взгляд, признание сторонниками традиционной интерпретации гипотетико-дедуктивной модели знания частичности эмпирической интерпретации естественнонаучной теории и наличия в ней «избыточного», дополнительного содержания, означали радикальный отказ от редукционизма. И в самом деле, если под редукционизмом понимать то, что понимал Куайн, т. е. сведение каждого теоретического термина к некоторой совокупности тер-

минов наблюдения, то переход к гипотетико-дедуктивной модели был отказом от редукционизма. Встает, однако, вопрос: исчерпывает ли куайновское понимание редукционизма возможности редукционистского объяснения специфики теоретического содержания? Очевидно, что для решения вопроса о том, означал ли на самом деле переход к гипотетико-дедуктивной модели знания реализацию целостного подхода, следует обратиться к тем трактовкам природы «избыточного» содержания, которые предлагаются сторонниками стандартной интерпретации гипотетико-дедуктивной модели знания.

Возьмем, например, работу одного из видных представителей неопозитивистской философии науки Р. Карнапа [см.: Карнап Р., 1971, гл. V]. Неполнота эмпирической интерпретации объясняется им как принципиальная незавершаемость, незаконченность процедуры добавления новых правил соответствия, как всегда остающаяся возможность разработать новую процедуру для измерения той или иной величины [Карнап Р., 1971, гл. 24]. Можно в принципе представить себе такую ситуацию, утверждает Карнап, когда добавление новых правил соответствия будет невозможно. Тогда, с его точки зрения, С-правила будут давать окончательное, явное определение термина; однако в этом случае последний перестанет быть теоретическим и станет частью языка наблюдения. Таким образом, с позиций Карнапа, смысл теоретических терминов исчерпывается классом всех возможных правил соответствия. Нетрудно увидеть здесь проявление редукционистской тенденции — стремление «объяснить» природу избыточного содержания, сведя его к низшему уровню.

Редукционистская тенденция представителей позитивистского варианта гипотетико-дедуктивной модели знания непосредственно переходит в свою противоположность — инструментализм, который вообще отрицает содержательность верхних уровней теоретического знания. Последняя тенденция воплотилась, в частности, в так называемой концепции Рамсея, встретившей одобрение многих представителей неопозитивизма и, в частности, Р. Карнапа. Суть этой концепции в утверждении о возможности исключить теоретические термины из языка теории, переформулировав ее так, чтобы она содержала только термины языка наблюдения. [Подробное изложение процедуры, которую предлагал для подобной переформулировки Рамсей; см., напр., в кн.: Карнап Р., 1971, гл. 26]. Здесь важно отметить следующее. Возможность осуществления процедуры Рамсея сомнения не вызывает. Возражения, которые встретила она, были методологического порядка. Они касались тех выводов, которые делались неопозитивизмом по поводу эмпирической эквивалентности предложения Рамсея (так называют результат предложенного Рамсеем способа переформулировки теории) обычной формулировке теории, т. е. той, которая оперирует теоретическими терминами. Эмпирическая эквивалентность их трактовалась как полная эквивалентность; с этой точки зрения

«содержание наблюдений представляет все, что необходимо, чтобы теория функционировала как теория, т. е. объясняла бы известные факты и предсказывала новые» [Карнап Р., 1971, с. 337]. Теоретические термины в этом случае считаются просто удобными символами, и роль их сводится только к тому, чтобы упорядочивать наблюдаемые явления в определенную схему, способную функционировать в качестве основы для предсказания новых данных наблюдения.

Однако ни редукционизм, ни инструментализм не были приняты в качестве концепций, способных дать адекватную трактовку природы теоретического знания. Если исходить из того, что в теории как элементарной единице объяснения эмпирических данных нет ничего нового по сравнению с эмпирическим уровнем знания (редукционизм), остается неясным, каким образом может состояться сам акт объяснения? Ведь объяснение предполагает наличие в объясняющем некоторого нового (по сравнению с объясняемым) элемента. Если же встать на точку зрения, согласно которой теоретический уровень содержательно пуст (инструментализм), остается неясным, каким образом наличие пустой символики в теоретической схеме может способствовать получению оправдывающихся предсказаний. Неудачи позитивизма в решении проблемы эмпирического обоснования теоретического знания заставили вновь вернуться к вопросу о том, что представляет собой теория как единица методологического анализа знания.

Разрабатывая гипотетико-дедуктивную модель организации знания, позитивизм отправлялся от того неоспоримого факта, что принципы теорий описывают поведение идеальных, абстрактных объектов. В самом деле, содержанием принципов классической механики являются не результаты опытов с падающими телами или наклонными плоскостями (хотя они и выступают эмпирической базой теории, обеспечивающей экспериментальную интерпретацию ее понятий), а закономерности поведения ее абстрактных объектов — «материальных точек», «сил» и т. п. Аналогичным образом, содержание принципов квантовой механики — результат оперирования «векторами состояний», «операторами» и т. п. абстрактными объектами этой теории. Опыты, относящиеся к определению спектральных закономерностей и обеспечивающие экспериментальную интерпретацию понятий квантовой механики, в содержание ее принципов непосредственно не входят.

Однако многочисленные критики традиционной интерпретации гипотетико-дедуктивной теории указывали, что, беря идеальные объекты как данность, сторонники рассматриваемого подхода не могли понять и природу абстрактных объектов. Систематизация знания была начата позитивизмом с исследования функциональной организации, без учета генезиса теории. Вообще говоря, подобный подход вполне правомерен, и он оправдан во всех тех случаях, когда генезис с трудом поддается теоретической реконструкции, что как раз и наблюдалось в случае с анализом научного

знания. Процесс генезиса теории содержит в себе такие неформализуемые моменты, как творческое воображение исследователя, интуиция и т. п. И хотя контекст открытия не исчерпывается психологическими моментами, а содержит в себе и логические компоненты, позитивизм отдал его полностью на разработку психологии, исключив из сферы методологического анализа. В связи с этим вычлененная в качестве единицы анализа функциональная организация не была представлена как результат ее генезиса, не несла на себе отпечатка своего происхождения и развития. Для понимания специфики интегративного содержания теории как системы указанное обстоятельство оказалось роковым. Только обратившись к генезису знания, можно было понять, откуда в теории берется «избыточное» содержание.

Суть дела заключается в том, что идеальные объекты теории являются результатом конструирующей деятельности исследователя, которая детерминируется не только эмпирическими данными, но и представлениями о структуре исследуемого фрагмента реальности, а также представлениями о том, какой «ход событий», какой «порядок вещей» является здесь естественным. Эти представления господствуют на том или ином этапе развития науки, выступая для научного сообщества интуитивно очевидными. Между исследователем и исследуемым им объектом как теоретическая «система отсчета» всегда стоят определенные исходные теоретические предпосылки, через призму которых исследователь видит эмпирические данные.

Содержание исходных предпосылок не просто формирует более или менее наглядную схему «устройства» исследуемого фрагмента реальности, но и несет в себе указание на метод его теоретического анализа.

В общем виде положение о неустранимости исходных теоретических предпосылок, о детерминации процесса познания миром культуры было сформулировано в известном тезисе марксизма относительно общественно-исторической обусловленности процесса познания. Следует отметить, что по сути своей оно является выражением одного из принципов системного подхода, а именно принципа иерархичности. Теория является клеточкой системы знания; поскольку, однако, само познание является подсистемой системы культуры — результата всей предшествующей теоретической и практической деятельности людей, одним из условий вычленения «целостного» элемента выступает учет тех связей, которые порождены отношением субординации между наукой и культурой.

Появление в западной философии науки работ, в которых критикуется стандартная интерпретация гипотетико-дедуктивной модели знания [Kuhn T., 1962; Lakatos I., 1970; Suppe F., 1972; Schaffner K. F., 1969, и др.], произошло не без влияния марксистских идей, хотя причины их появления лежат и в попытке избежать трудностей, порождаемых позитивистской реконструкцией

теории. В работах, ведущихся в русле диалектико-материалистической методологии [см. ранее цитируемые работы логиков, а также Мостепаненко М. В., 1969; Степин В. С., 1972; книги «Логика научного исследования», Киев, 1965; «Проблемы исследования структуры науки», Новосибирск, 1967, и др.), тезис о социально-исторической детерминации познания сознательно используется в качестве основной исходной посылки исследования.

Осознание неустранимости исходных теоретических предпосылок коренным образом меняет то представление об элементах теории (понятиях), которое содержится в традиционной интерпретации гипотетико-дедуктивной модели. В качестве элемента теории теперь естественно взять не символ, который изначально лишен смысла и получает его лишь посредством эмпирической интерпретации, а теоретический объект, обладающий некоторым, существующим до эмпирической интерпретации смыслом. Этот предшествующий эмпирической интерпретации смысл составляет содержание семантической интерпретации теоретических понятий.

Механизм семантической интерпретации конкретизируется в работах нового направления следующим образом. Непосредственным источником семантической интерпретации символов выступают теоретические абстрактные объекты, корреляция между которыми образует модель. Предполагается, что модель несет в себе существенные черты реального референта теории — исследуемого материального объекта, который в современном познании остается ненаблюдаемым. Как характер абстрактных объектов, так и способ соединения их в модели в значительной степени детерминируются исходными интуитивно очевидными предпосылками, о которых упоминалось выше.

Таким образом, теория в качестве функциональной системы, которая несет на себе отпечаток своего генезиса, выступает как взаимосвязанная совокупность понятий, каждое из которых имеет два типа интерпретативных правил: С-правила, обеспечивающие эмпирическую интерпретацию терминов теории, и референтные, как назвал и М. Бунге (Bunge M., 1965), правила, обеспечивающие «физический» смысл ее терминов.

Сторонники традиционной трактовки гипотетико-дедуктивной модели теории не отрицают существования связей между терминами теории и моделью. Однако подобные связи оцениваются здесь как не вносящие существенного вклада в познавательное значение теоретических терминов.

Наличие антецедентного смысла у элементов теории дает возможность понять природу ее «избыточного» содержания и обосновать неправомерность редукционизма в его трактовке. «Избыточное» содержание не содержится в эмпирических данных и не может быть получено только из них. По отношению к эмпирическому знанию специфическое содержание теории действительно является новым — оно как бы привносится в них «со стороны».

Но при рассмотрении теории как системы двояким образом интерпретированных понятий «избыточное» содержание предстает перед исследователем как порождение самой системы.

Сказанное не означает, конечно, что описанная модель может рассматриваться как совершенно адекватно воспроизводящая реальное строение знания. Вряд ли мы можем сказать сегодня с определенностью, что мы знаем, что́ такое теория, каково ее строение и границы. По-видимому, в направлении познания структуры научной теории сделаны лишь первые шаги. Недостаточно исследованной остается пока, например, содержательная структура исходных теоретических предпосылок, ответственных за появление избыточного содержания; можно предполагать, что она имеет сложное строение, являясь иерархией представлений, из которых ближе всего к научному знанию лежат представления о строении исследуемого фрагмента реальности, а в качестве наиболее удаленных метанаучных слоев выступают и взгляды, представления, выражающие общую духовную атмосферу эпохи.

Несомненно, однако, что модель, учитывающая (пусть пока в нерасчлененном виде) вклад, вносимый в содержание теории исходными предпосылками, ближе к той «клеточке», которая могла бы рассматриваться в качестве «целостного» элемента знания по сравнению с традиционно интерпретируемой гипотетико-дедуктивной моделью.

В самом деле, основные функции научного знания состоят в том, чтобы объяснять познаваемые объекты через систему их понимания. В связи с этим клеточка знания должна имплицитно содержать возможности осуществления функции объяснения объектов. Как мы убедились, стандартная интерпретация гипотетико-дедуктивной модели, с ее трактовкой специфики теоретического содержания, не несет в себе таких возможностей. В новую модель оказываются «встроенными» те представления о структуре реальности, которые выступают интуитивно очевидными для научного сообщества (на том или ином этапе развития познания), вполне отвечающими «здравому смыслу» эпохи. И это обстоятельство, обеспечивая приемлемость теории научным сообществом, делает ее не только инструментом по предсказанию новых данных, но и системой объяснения, системой понимания исследуемых объектов.

Выступая элементом системы знания, подобным образом интерпретированная теория противостоит «среде». Однако в новом подходе меняется и понимание среды. В традиционной, позитивистской, модели в качестве среды, окружения выступал эмпирический базис, набор «твердых» экспериментальных фактов — абсолютно надежная проверочная основа знания. «Всепроникаемость» исходных теоретических предпосылок делает невозможным вычленение знания, лишенного теоретических привнесений; само подразделение на «теорию» и «факты» становится относительным. То, что в старой модели интерпретировалось как язык наблюдения, в новой — становится нижним уровнем в иерархии содержатель-

ных научных языков. Теория как система оказывается открытой по отношению к теоретически нагруженному, хотя, конечно, и относительно менее «теоретическому», более «фактуальному» и «неопровержимому» эмпирическому базису.

Помимо этого, научное знание как система оказывается открытой и по отношению к вненаучному интеллектуальному фону развития знания, составляющему существенный компонент системы культуры. Как уже отмечалось, научное знание является подсистемой системы культуры, с которой оно связано посредством механизма обратной связи: формируясь под более или менее сильным влиянием различных слоев культуры, оно само вносит важнейший вклад в ее формирование.

Итак, в эволюции методологических представлений о строении знания явно прослеживается тенденция, которую можно охарактеризовать как переход от редукционизма (в трактовке специфики и сути теоретического знания) к целостности (целостному членению системы знания). В связи с чем напрашиваются два вывода.

1) Принципы, которые в настоящее время называются как составляющие суть системного подхода, «работают» в качестве методологических регулятивов и в той специальной области знания, которая предметом своим имеет исследование самого процесса познания.

2) Мы не можем утверждать со всей определенностью, что́ представляет адекватная исходная клеточка анализа знания как системы. Однако в той мере, в какой указанная тенденция обнаруживает себя, мы можем утверждать, что новая интерпретация гипотетико-дедуктивной модели знания находится на верном пути.

Инварианты в системном исследовании знания

Важнейшим средством исследования систем как целостностей является вычленение инвариантных отношений и характеристик систем. В работах отечественных и зарубежных исследователей неоднократно подчеркивалось то значительное место, которое занимает понятие инварианта в иерархии системных понятий [Овчинников Н. Ф., 1966; Урсул А. Д., 1967; Laszlo E., 1973; и др.], а также особая роль теоретико-групповых методов как эффективных средств системно-структурного анализа объектов [Йолон П. Ф., 1967; Тюхтин В. С. 1972, с. 21]. При системном исследовании самого научного знания вычленение инвариантных отношений оказывается плодотворным на двух уровнях: 1) при анализе теории как исходной целостности функционально-структурного аспекта системы знания; 2) при исследовании структурно-динамического «среза» его как системы.

На первом уровне вычленение инвариантных отношений является средством познания такого важного и малоисследованного аспекта целостности теории, как ее организация. Особая роль инвариантов в организации знания может быть понята, если обра-

титься к тому пониманию организации, которое развивает У. Р. Эшби (1966). Необходимым условием возникновения организации, по Эшби, является наличие некоторых ограничений, которые накладываются на отношения между коммуникативно связанными частями и без которых обмен информацией между частями был бы невозможен. «...Наличие организации между переменными,— утверждает Эшби,— эквивалентно существованию ограничений в пространстве возможностей» [Эшби У. Р., 1966, с. 516—517]. Понятие организации Эшби связывает с наличием абстрактного пространства возможностей, внутри которого находится некоторое подмножество точек, соответствующих действительно происходящим событиям [Эшби У. Р., 1966, с. 316]. Реальный мир представляет собой то подмножество абстрактного пространства возможностей, которое выделяется наложением ограничений.

Непосредственно с понятием ограничения разнообразия связывается понятие инварианта: существование инварианта в множестве явлений означает, что осуществляется не вся область разнообразия. Таким образом становится очевидной роль понятия инварианта в теории организации. Поскольку любой закон природы является инвариантом, естественно, что и в структуре естественнонаучной теории инварианты несут ту же организующую функцию. Особенно наглядна их роль «организаторов» теории в математическом естествознании.

В самом деле, главными понятиями в структуре любой физической теории (поскольку она является математической) является «пространство состояний» и «динамический закон». Пространство состояний выступает как многообразие, на базе которого строится теория. Задача построения теории в значительной степени сводится к поискам автоморфизмов основного многообразия. Группа автоморфизмов почти однозначно определяет структуру теории: она определяет тип динамического закона, который, в свою очередь, выделяет физически реализуемые состояния. Структура любой физической теории носит, таким образом, теоретико-групповой характер.

В аналитической механике Гамильтона — Якоби движение динамической системы описывается как движение точки в n-мерном конфигурационном пространстве (n — число степеней свободы системы). Переменными, фигурирующими в уравнениях Гамильтона и определяющими движение механической системы, являются обобщенные координаты q и обобщенные импульсы p. Преобразование переменных q и p в некоторые новые переменные q' и p', если оно совершается произвольно, меняет форму уравнений. Но существует некоторое преобразование, которое оставляет их неизменными. Оно называется каноническим. Совокупность канонических преобразований и составляет группу автоморфизмов фазового пространства обобщенных координат и импульсов, инвариантами которых выступают канонические уравнения Гамильтона. В квантовой механике абстрактным пространством состоя-

ний выступает гильбертово сепарабельное пространство, являющееся бесконечномерным обобщением n-мерных эвклидовых пространств Грассмана, Римана и Гельмгольца. В квантовой физике состояние определяется вектором в гильбертовом пространстве. Роль преобразований симметрии здесь выполняют унитарные преобразования гильбертова пространства, образующие различные подгруппы группы всех унитарных преобразований. В строящейся теории элементарных частиц пытаются использовать несепарабельные (сепарабельность связана с возможностью «натянуть» пространство на счетное число векторов) пространства и пространства с индефинитной метрикой.

Найти преобразования симметрии, оставляющие неизменным динамический закон, т. е. найти характер группы — дело эмпирического исследования. Чем больше мы знаем инвариантов, тем больше ограничений накладываем мы на действительную форму динамического закона. И хотя вопрос о том, может ли, в принципе, знание всех инвариантов системы полностью определить ее динамический закон, или же для этого нужны дополнительные ограничения, пока остается открытым, справедливой представляется оценка их роли, данная известным физиком Р. Фейнманом, который назвал как-то современную теоретическую физику разделом теории групп.

Следует отметить, однако, что если система инвариантов в принципе способна однозначно определить структуру динамического закона, она сама по себе недостаточна для построения теории как целостной системы знания. Система инвариантностей определяет только математическую структуру теории, ее логический скелет. Для построения теории необходима эмпирическая интерпретация математических символов, а также допущения о структуре реальности, составляющие содержание ее принципов. Однако в той мере, в какой организация может быть отождествлена с упорядоченностью, структурой, можно утверждать, что система инвариантов организует знание в систему.

Вторым уровнем исследования, на котором оказывается плодотворным вычленение инвариантных отношений, является изучение структурно-динамического аспекта системы научного знания, связанное с попытками реконструкции процесса его развития. Вопрос этот представляет тем больший интерес, что в настоящее время существуют довольно разработанные попытки взглянуть на эволюцию научного знания глазами «кибернетика». Нередко высказывается некоторое предубеждение против исследования процесса развития знания с кибернетических позиций. Оно основано на опасении, что при реализации кибернетического подхода к познанию будет забыто, что последнее — результат деятельности людей. Однако подобные опасения неосновательны. В той мере, в какой процесс познания можно рассматривать как естественноисторический процесс (т. е. как осуществляющийся хотя и в сознании отдельного индивида, но в то же время и не-

зависимо от него), обладающий собственной логикой развития, применение категорий и законов кибернетики к нему вполне правомерно. Помимо этого развитие научного познания, являясь эволюционным процессом, должно нести в себе некоторые общеэволюционные характеристики. Последние с определенной точки зрения исследуются кибернетикой как наукой о сложных развивающихся процессах различной природы, в связи с чем следует ожидать, что использование кибернетических методов и представлений не только правомерно, но может оказаться и плодотворным.

Открытый характер системы научного познания, а также эмпирически зафиксированный факт активного взаимодействия его с окружением (в частности, ассимилирование научными теориями эмпирических данных) породили попытки построить системную модель развития науки, рассматривая ее как разновидность саморегулирующейся системы (гомеостат, по Эшби) [Blachowich J. A., 1971; Laszlo E., 1972]. Научное познание плюс окружение рассматривается в этих моделях как закрытая система, которая проходит через серию промежуточных состояний на пути к равновесию. Поведение подобных систем Эшби описывает как прохождение через ряд промежуточных состояний. Некоторые из этих состояний можно считать более стабильными по сравнению с другими, как квазистационарные для относительно больших периодов времени. Когда закрытая система придет в состояние равновесия, ее открытая компонента (та, что противостоит окружению) оказывается полностью адаптированной к окружению.

Если рассматривать научное познание как открытую подсистему более сложной системы (научное познание плюс окружение), то состояние равновесия может быть охарактеризовано как осуществление идеальной науки, которая, в частности, может полностью объяснить и предсказать все эмпирические данные. Дополнительные, промежуточные равновесные состояния можно трактовать как фундаментальные научные теории («организации конструктов»), которые научным сообществом оцениваются как частично воплощающие идеал науки [Laszlo E., 1972, с. 387—388].

В данной статье, к сожалению, нет возможности из-за недостатка места останавливаться подробно на конкретных интерпретациях этой схемы. Следует отметить только, что характер интерпретации будет зависеть от того, что будет выбрано в качестве «элементарной эволюционной структуры» [Тимофеев-Ресовский Н. В., 1970, с. 80—91] развивающегося познания. Если исходить из условия, что в качестве элементарной эволюционной структуры должна выступать такая функциональная организация, которая может быть представлена как результат эволюции системы [Хайлов К. М., 1970, с. 136], то естественно попытаться в качестве единицы анализа динамической системы знания взять нетрадиционную интерпретацию гипотетико-дедуктивной модели знания. Она в большей степени, чем стандартная интерпретация, отвечает сформулированному требованию, так как ее содержание

оказывается детерминированным предшествующей теоретической деятельностью людей. В таком случае окружением естественно считать не только эмпирические данные, но и интеллектуальный фон развития познания; а каждое квазиравновесное состояние характеризовать не только как состояние относительно наибольшего соответствия эмпирическим данным, но и как наибольшую адаптацию теории к существующему стилю мышления.

Чтобы понять, каким образом специфицируется состояние равновесия, нужно еще раз вернуться к характеру исходных теоретических предпосылок, стоящих между исследователем и исследуемым объектом. Задавая способ ви́дения мира, а также метод исследования объектов, они вместе с тем выполняют еще одну функцию — они определяют представления научного сообщества о том, какой должна быть научная теория как система объяснения. Таким образом, исходные теоретические предпосылки определяют то, что можно было бы назвать «общественным идеалом науки», т. е. теми представлениями, которые складываются у сообщества ученых (и даже у широких кругов общественности) по поводу того, что является наукой, а что не является ею, или какой должна быть научная теория, как она должна строиться. Представления эти имплицитно имеются в виду исследователем и накладывают отпечаток на характер идеальных объектов теорий. Удовлетворение господствующему общественному идеалу науки обеспечивает приемлемость теории научным сообществом (делает ее социально значимой). Соответствие общественному идеалу науки знаменует собой очередное состояние равновесия закрытой системы — научное познание плюс окружение, — наибольшую адаптацию теории к окружению.

Общественный идеал науки выполняет роль своеобразного информационного механизма управления развитием научного познания; в связи с тем, однако, что само управление формируется под влиянием развивающегося познания (между ними существует обратная связь), управление здесь не носит характера жесткой детерминации.

Мы не будем останавливаться более подробно на предложенной модели: она носит лишь предварительный и гипотетический характер. Подчеркнем один момент: общественный идеал науки носит, очевидно, исторически относительный характер. Последнее обстоятельство, может казаться, полностью исключает возможность понять эволюционный характер развития научного знания и объяснить, в частности, эмпирически зафиксированный факт преемственности знания. Избежать релятивизма удается здесь посредством включения в строящуюся теорию развития научного знания инвариантных моментов в исторически изменяющемся общественном ви́дении науки. Инварианты в данном случае представляют «память» системы, учет прошлого опыта.

Одним из таких инвариантов выступает требование оптимальности организации, которое, наряду с требованием соответствия

теории известным эмпирическим данным, всегда предъявляют ученые к строящимся концептуальным системам. Понятие оптимальности организации теории можно специфицировать на основании закона необходимого разнообразия Эшби. Суть последнего заключается в требовании к системе обладать величиной разнообразия, которая была бы достаточной для того, чтобы система могла справиться с разнообразием поступающих извне воздействий [Эшби У. Р., 1959, с. 293—297]. Однако отбор теорий (составляющий обязательный момент эволюции научных знаний) осуществляется по степени их организованности.

Можно предположить, что одним из индикаторов степени организованности теорий выступает широта группы преобразований, лежащая в основании ее структуры. На эмпирическом уровне существование связи между совершенством организации теории и широкой группы преобразований отмечалось естествоиспытателями [см., например, Эйнштейн А.; 1967, с. 287]. Наличие подобной *связи становится более* понятной, если вспомнить о той фундаментальной роли, которую играют инварианты в организации теории. Естественно ожидать, что, если переход от одной фундаментальной концептуальной системы к другой совершается под давлением необходимости усовершенствования логической организации теории, он должен сопровождаться расширением группы, лежащей в основании теории.

Фактор расширения фундаментальной группы в качестве определяющего эволюцию физического знания кладется в основание так называемого эрлангенского подхода к истории физики. Суть последнего в следующем: группа существующей фундаментальной теории рассматривается как *«слепок» ее эволюции*, каждая подгруппа которой связана с определенным этапом ее развития [см. в частности, Визгин В. П., 1968]. Более подробное рассмотрение всех этих вопросов выходит, однако, за рамки статьи.

Литература

Блауберг И. В., Садовский В. Н., Юдин Э. Г. Системный подход в современной науке.— В кн.: Проблемы методологии системного исследования. М., 1970.

Блауберг И. В., Юдин Э. Г. Становление и сущность системного подхода. М., 1973.

Визгин В. Б. Эрлангенский подход к истории физики.— В кн.: XI научная конференция аспирантов и младших научных сотрудников. Секция истории физики. М., 1968.

Дирак П. А. М. Лекции по квантовой теории поля. М., 1971.

Карнап Р. Философские основания физики. М., 1971.

Кузнецов И. В. Структура физической теории.— «Вопросы философии», 1967, № 11.

Кузьмин В. П. Системное качество.— «Вопросы философии», 1973, № 9, 10.

Ледников Е. Е. Проблема конструктов в анализе научных теорий. Киев, 1969.

Лекторский В. А., Садовский В. Н. О принципах исследования систем.— «Вопросы философии», 1960, № 8.

Логика научного исследования. М., 1965.

Мандельштамм Л. И. Полное собрание трудов, т. 5. М., 1960.
Мостепаненко М. В. Философия и физическая теория. М., 1969.
Овчинников Н. Ф. Принципы сохранения. М., 1966.
Проблемы исследования структуры науки. Новосибирск, 1967.
Ракитов А. И. Логическая структура научной теории.— «Вопросы философии», 1966, № 1.
Ракитов А. И. Анатомия научного знания. М., 1969.
Рузавин Г. И. Гипотетико-дедуктивный метод.— В кн.: Логика и эмпирическое познание. М., 1972.
Садовский В. Н. Проблемы методологии дедуктивных теорий.— «Вопросы философии», 1963, № 3.
Садовский В. Н. Парадоксы системного мышления.— В кн.: Системные исследования. М., 1972.
Смирнов В. А. Уровни знания и этапы процесса познания.— В кн.: Проблемы логики научного познания. М., 1964.
Степин В. И. О путях построения естественнонаучной теории.— В кн.: Проблемы философии и методологии современного естествознания». М., 1973.
Тимофеев-Ресовский Н. В. Структурные уровни биологических систем.— В кн.: Системные исследования. Ежегодник, 1970. М., 1970.
Тюхтин В. С. Отражение, системы, кибернетика. М., 1972.
Уемов А. И. Проблема построения общей теории упрощения научного знания.— В кн.: Логика и методология науки. М., 1967.
Урсул А. Д. Теоретико-познавательное значение принципа инвариантности.— В кн.: Симметрия, инвариантность, структура. М., 1967.
Хайлов К. М. Системы и систематизация в биологии.— В кн.: Проблемы методологии системного исследования. М., 1970.
Швырев В. С. Неопозитивизм и проблема эмпирического обоснования науки. М., 1966.
Шедровицкий Г. П. Проблемы методологии системного исследования. М., 1964.
Эйнштейн А. Физика и реальность.— Собрание научных трудов, т. 4. М., 1967.
Эшби У. Р. Введение в кибернетику. М., 1959.
Эшби У. Р. Принципы самоорганизации.— В кн.: Принципы самоорганизации. М., 1966.
Йолон П. Ф. Системність наукових знань і дійсність. Київ, 1967.
Blachowich J. A. Systems Theory and Evolutionary Models of the Developments of Science.— «Philosopny of Science», 1971, vol. 38, N 2.
Broglie L. de. Continu ef discontinu en physigue quantique. Paris, 1941.
Bunge M. Physics and Reality.— ««Dialectica», 1965, vol. 19, N 3.
Hempel C. G. Philosophy of Natural Science. N. Y., 1966.
Kuhn T. The Structure of Scientific Revolutions. Chicago, 1962.
Lakatos I. In: Criticism and the Growth of Knowledge». Cambridge, 1970.
Laszlo E. A. General Systems Model of the Evolution of Science.— «Scientia», vol. 107. Milano, 1972.
Laszlo E. The Ideal Scientific Theory: a Thought Experiment.— «Philosophy of Science», 1973, vol. 40, N 1.
Nagel E. The Structure of Science. N. Y., 1961.
Quine W. V. Two Dogmas of Empiricism.— «From a Logical Point of View». Cambridge, 1953.
Schaffner K. F. Correspondence Rules.— «Philosophy of Science», 1969, vol. 36, N 3.
Suppe F. What's wrong with the Received view of Scientific Theories? — «Philosophy of Science», 1972, vol. 39, N 1.

Раздел II

МЕТОДЫ КИБЕРНЕТИКИ В ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ВОПРОСЫ РАЗРАБОТКИ НАУКИ ОБ ИНФОРМАЦИИ

В. И. Сифоров

Наука об информации, к которой наиболее близко подходит название «информология», возникла из практических потребностей электросвязи. Развиваясь далее под влиянием разнообразных потребностей практики и других наук, а также вследствие ее внутренней логики, информология благодаря большой общности понятия «информация» и установленных в ней законов плодотворно взаимодействует со многими естественными, общественными и техническими науками.

Несмотря на актуальность информологии для дальнейшего развития других фундаментальных наук и для ускорения научно-технического прогресса в науке об информации еще нет единой точки зрения на содержание понятия «информация» и связанных с ним понятий.

В настоящей статье сделана попытка рассмотреть основные методологические вопросы системы понятий в науке об информации.

Необходимость создания системы научных понятий

Одной из обязанностей ученых, вне зависимости от того, в какой области науки они работают, является разработка системы научных понятий с учетом взаимодействия данной науки с другими областями знаний. Уточнение содержания каждой специальной науки является также необходимым условием для разрешения философских вопросов, связанных с этой наукой. При этом следует иметь в виду, что наиболее актуальные и острые философские вопросы возникают обычно в областях взаимосвязей и взаимодействий наук.

Правильное разрешение философских вопросов, связанных с каждой конкретной наукой (с учетом многогранных взаимодействий с другими науками) способствует выдвижению и формулировке новых актуальных научных проблем. А это, в свою очередь, способствует ускорению научно-технического прогресса.

Приведенные соображения полностью относятся и к информологии. Ее возраст составляет немногим более четверти века. Это обстоятельство, а также и то, что информология быстро развивается и взаимодействует со многими науками, причем характер этого взаимодействия быстро изменяется, вызывает большие трудности при разработке системы научных понятий. Тем не менее в разработке системы научных понятий в области информологии имеется настоятельная необходимость. Установление системы научных понятий, их определений и терминологии важно не только для ускорения дальнейшего развития науки, но также чрезвычайно важно для повышения эффективности учебного процесса в высшей и средней школе.

Для плодотворного проведения научных дискуссий в любой области необходимо четко представлять себе содержание каждого понятия, обозначаемого соответствующим термином. Следовательно и с этой точки зрения установление системы научных понятий является необходимым. По этому поводу В. И. Ленин писал, что «надо выяснить точно понятия, если хотеть вести дискуссию» (Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 30, с. 93). Хорошо известна также фраза Декарта: «Определяйте значения слов и вы избавите свет от половины его заблуждений».

Несколько лет тому назад в Академии наук СССР имела место дискуссия по различным вопросам кибернетики и, в частности, по вопросу о том, может ли машина мыслить. Различные точки зрения, высказанные в этой дискуссии, нашли свое отражение во многих публикациях, посвященных различным аспектам кибернетики [см., например, Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная. М., 1968]. Одной из причин коренного расхождения точек зрения в этой дискуссии являлось то обстоятельство, что спорящие стороны в такие понятия, как «машина» и «мышление», вкладывали различное содержание.

И наконец, уточнение системы научных понятий крайне необходимо при разрешении комплексных проблем, относящихся ко многим взаимодействующим наукам.

Условия разработки системы понятий информологии

Одним из необходимых условий для плодотворной разработки системы научных понятий в любой специальной науке и для разрешения философских проблем, порожденных этой наукой, является использование в качестве общих ориентиров положений и принципов диалектического материализма. В частности, необходимо учитывать известное положение диалектического материализма о том, что все в мире находится в движении или изменении. Это значит, что и система научных понятий любой специальной науки не является незыблемой и постоянной, а по мере дальнейшего развития этой науки должна изменяться и пересматриваться. В таком процессе, конечно, различные элементы системы по-

нятий изменяются неравномерно. Некоторые из них остаются более или менее стабильными, а другие — в корне изменяются. Имеются также и такие элементы, которые с развитием науки практически полностью теряют свое значение и должны быть отброшены. Они становятся лишь достоянием истории данной науки.

Ф. Энгельс писал, что когда вещи и их взаимные отношения рассматриваются не как постоянные, а как находящиеся в процессе изменения, то и их мысленные отражения, понятия, тоже подвержены изменению и преобразованию: они претерпевают процесс формирования и исторического развития. Одной из основных задач каждой специальной науки и методологии является рассмотрение эволюции понятий, а применительно к информологии — рассмотрение эволюции понятия «информация» и связанных с ним понятий.

Надо учитывать также, что и сам предмет исследования каждой специальной науки изменяется.

В период становления науки об информации объектами исследования были каналы и системы электросвязи — проводной и радиосвязи. В наши дни информология изучает не только эти технические объекты, но также объекты, относящиеся к миру животных и растений, человека и человеческого общества.

Следует подчеркнуть исключительно важную роль научных абстракций при разработке системы научных понятий в любой специальной науке, в том числе и в информологии. Абстрагируясь от бесчисленного множества специфических свойств различных материальных образований, информационная наука тем самым исследует не людей, животных или созданные человеком различные машины и технические системы как таковые, а изучает все эти объекты с точки зрения происходящих в них информационных процессов, а именно — процессов передачи, распределения, обработки и преобразования информации. Таким образом, информология не подменяет все другие науки о природе, обществе и мышлении, а, изучая специфические для нее информационные процессы, позволяет глубже познать законы функционирования и развития в природе и обществе.

При разработке системы научных понятий в таких науках, как информология, кибернетика и им подобных, возникают свои концептуально-терминологические трудности. Они, в частности, связаны с тем, что и информология, и кибернетика исследуют самые различные виды и формы движения материи. Так, информология связана и с физикой, и с биологией, и с техникой, и со многими общественными науками. В каждой из этих наук установлена своя система научных понятий и своя терминология. Например, в биологии есть такие понятия, как рецепторы, эффекторы, локомоция, раздражимость, реакция, передача возбуждения, образование временной нервной связи и т. д.; в технике связи существуют такие понятия, как канал связи, сеть связи, коммутация, вход, выход, помеха и т. д.

Как преодолеваются указанные трудности?

Здесь есть несколько путей. Первый из них состоит в том, что для понятий в новых науках вводят новые термины. Именно таким путем были введены в современную науку такие термины, как, например, обратная связь, информация. Другой путь состоит в том, что в новые науки вводят термины, заимствованные из уже сложившихся наук. Типичным примером в этом отношении является широко используемый в наши дни термин «память машины», заимствованный из биологической науки. Применяя термин «память» в кибернетике и информологии, мы вкладываем в него специфическое содержание, отличное от содержания понятий памяти человека и животных; но в то же самое время в содержании этих понятий имеется и много общего.

Наконец, при разработке системы понятий в науке об информации прежде всего необходимо хотя бы в общих чертах представить себе содержание этой науки. Иначе говоря, следует выяснить, что входит в ее компетенцию, а что является сферой исследования других наук? А это предполагает ответы на следующие вопросы:

— какие объекты исследуются в науке об информации?

— какова роль информационной науки в общей системе наук?

— каковы ее взаимоотношения с другими науками как смежными, так и более далекими?

— как формировалась наука об информации или, иначе говоря, какова «предыстория» и история ее возникновения и развития?

— какие решающие скачки имелись в ее развитии?

— какие генеральные направления ее развития имеются в наши дни и будут в ближайшем и более далеком будущем?

— какую помощь оказывают добытые информационной наукой фундаментальные результаты для разрешения важных практических задач?

Для того чтобы ответить на все эти и другие подобные вопросы, нужно, в первую очередь, проанализировать понятие информации и уточнить содержание основных действий с информацией — передачи, распределения, обработки и т. д.

Анализ содержания понятия информации

Анализу содержания понятия информации было посвящено большое количество исследований, выполненных как в СССР, так и за рубежом. Этой проблемой занимались и естествоиспытатели, и техники, и философы. Однако к настоящему времени не сформирована единая точка зрения даже на основное содержание этого понятия.

Приведем выборочно суждения некоторых наших и зарубежных ученых о содержании понятия информации.

В. М. Глушков считает, что в научном плане понятие информации охватывает не только сведения, которыми люди обмени-

ваются между собой. Так, существование звезд объективно создает определенную неоднородность в распределении вещества и поэтому является источником распространяющейся от них информации [Глушков В. М., 1964, с. 500].

А. А. Харкевич полагает, что в любой системе измерения, управления или регулирования мы имеем дело с особой сущностью, получившей название информации. В терминологическом справочнике «Теория информации», разработанном под руководством А. А. Харкевича, информация определяется как сведения, являющиеся объектом хранения, передачи, преобразования [Теория информации. Терминология, 1964].

Н. Винер в негативной форме отмечает отличительную особенность информации: «Информация есть информация, а не материя и не энергия» [Винер Н., 1958, с. 166].

У. Р. Эшби [1958] связывает понятие информации с концепцией разнообразия. В. С. Тюхтин [1967; 1972, гл. V] — с категорией отражения, А. Д. Урсул [1965; 1972] — с разнообразием всех форм материи, И. Б. Новик [1962] — с упорядоченным отражением, И. А. Акчурин [1964] — с фактом превращения возможности в действительность, И. И. Гришкин [1973] — с логико-семантической и прагматической концепциями.

Не приводя других многочисленных суждений о содержании понятия информации, заметим, что в основном их можно, на наш взгляд, классифицировать на следующие три группы.

К первой группе относятся суждения, в которых понятие информации связывается с тем или иным свойством, в том числе и с неотъемлемым свойством (атрибутом) материи, как, например, отражением, разнообразием, в частности, неоднородностью распределения вещества и энергии в пространстве и времени, сложностью, упорядоченностью, структурой. Будем для краткости называть такого рода подходы атрибутивными [1].

Ко второй группе относятся суждения, в которых понятие информации связывается с *логико-семантическими аспектами*. Здесь содержание понятия информации трактуется как некоторое знание, рассматриваемое с точки зрения его отношения к внешнему миру.

И наконец, к третьей группе можно отнести суждения, в которых понятие информации связывается с *прагматическими аспектами*, т. е. с аспектами ценности, полезности, эффективности, экономичности и другими подобными свойствами информации, рассматриваемой как знание.

Каждой из этих групп соответствуют свои концепции теории информации. В наиболее разработанной концепции теории информации, относящейся к первой группе, информация связывается с таким свойством материи, как ее разнообразие. Эта теория в

[1] Однако связь информации с теми или иными атрибутами материи еще не означает, что сама информация есть атрибут материи наряду с атрибутом отражения.— *Ред.*

настоящее время является наиболее зрелой в математическом отношении. Ее различные аспекты имеют большое значение для многих областей науки и техники, в том числе для техники связи и кибернетики. Результаты фундаментальных теоретических исследований, проведенных в последние годы, уже сыграли существенную роль для построения Единой автоматизированной сети связи, для освоения космоса и для разрешения многих других актуальных проблем и задач современности. Эта теория информации и является существенной частью информологии, которой и посвящена настоящая статья.

Теории информации, базирующиеся на логико-семантических и логико-прагматических аспектах понятия информации, находятся еще в начальной стадии своего развития. Методологические аспекты этих теорий заслуживают отдельного рассмотрения. Попытка такого рассмотрения, в частности, сделана в книге И. И. Гришкина [1973]. Анализируя основные положения теории семантической информации Карнапа и Бар-Хиллела [1952], И. И. Гришкин приходит к выводу, что эти теории представляют собой первую попытку семантической интерпретации понятия «информация», основанной на широком использовании идей современной символической логики, теории множеств, теории меры и теории вероятностей.

Обратимся теперь к рассмотрению понятия информации с позиций атрибутивного подхода к формированию этого понятия. К числу свойств материи, в том числе и неотъемлемых свойств (атрибутов), с которыми возможно связать понятие информации, относятся: разнообразие, отражение, структурность, упорядоченность, упорядоченное отражение, неоднородность распределения вещества и энергии в пространстве и во времени, превращение возможности в действительность и др.

Из всех этих свойств материи, как нам представляется, наиболее соответствующим понятию информации является разнообразие. Это неотъемлемое свойство или атрибут материи в наибольшей мере соответствует содержанию современной теории информации.

Точка зрения, согласно которой в основу содержания понятия «информация» должно быть положено свойство «разнообразие», нашла отражение в работах У. Р. Эшби [1958], Б. Н. Петрова и его школы [1968], А. Д. Урсула [1965], В. С. Тюхтина [1967] и в ряде других исследований. Говоря о разнообразии материальных образований или объектов, следует различать внутреннее и внешнее разнообразие. *Внутреннее разнообразие* какого-либо материального образования отображает разнообразие входящих в него частей или элементов, а также разнообразие его свойств и происходящих в нем процессов. *Внешнее разнообразие* отображает неотъемлемое свойство материи, заключающееся в том, что любые два (или более) материальных образования всегда отличаются друг от друга. Информация, которая распространяется от

источника к приемнику, преобразуется, распределяется и используется, содержит в себе внутреннее и внешнее разнообразие.

Любое разнообразие двух или нескольких материальных образований наряду с различием содержит всегда и общие свойства.

Одним из наиболее общих действий с информацией является передача информации, которая связана с отражением — общим свойством, присущим всем материальным образованиям.

Информация обладает следующими объективными характеристиками:

— существует объективно (вне зависимости от нашего сознания) и является неотъемлемым свойством (атрибутом) любых материальных образований;

— имеет не только количественную, но и качественную сторону;

— существует не только в стохастических, но также и в детерминированных системах;

— качественно различна для разных видов и форм движения материи.

Познание законов развития материи осуществляется не только путем изучения информационных моделей тех или иных реально существующих объектов природы, общества и мышления, но также и посредством построения и изучения абстрактных моделей таких объектов, которые не существовали и не существуют в данный момент времени, но которые, возможно, возникнут в будущем. С этой точки зрения исследование различных математических информационных моделей представляет большой интерес для науки. Однако ценность такого рода исследований окончательно может быть установлена лишь в будущем — человеческой практикой как критерием истины.

Как связано понятие информации с понятием управления? Информация как неотъемлемое свойство и атрибут материи существовала всегда, в то время как в процессе развития видов и форм движения материи на нашей планете управление возникло на определенной ступени этого развития. Отсюда следует, что понятие информации является более общим по сравнению с понятием управления. Однако при анализе и синтезе различных систем управления происходящие в них информационные процессы и информационные элементы являются частями общей системы управления. *Роль этих* процессов и элементов, хотя и весьма существенна, но все же она подчинена функционированию всей системы в целом.

Информология и ее предыстория

Выяснение понятия информации позволяет перейти к рассмотрению самой науки об информации, которую мы условились называть информологией. Прежде всего дадим определение этой науки.

Информология — это наука о законах передачи, распределения, обработки и преобразования информации. Кроме перечисленных

здесь основных действий с информацией имеется еще около 15 других действий, которые тоже входят в содержание информологии. К ним относятся: кодирование, декодирование, запоминание, хранение, поиск, извлечение, доставка, сравнение, отображение, производство (генерирование), потребление и др.

Существенной частью современной информологии является теория информации, рассмотренная в предыдущем разделе и связанная с атрибутивными подходами к понятию информации. Что касается других теорий информации, основанных на логико-семантических и логико-прагматических подходах к понятию информации, то, надо полагать, при последующем их развитии они войдут в отдельные самостоятельные науки, которые будут иметь свои специфические объекты и методы исследования. Методологические аспекты формирования и развития этих наук заслуживают специального рассмотрения и не входят в задачу данной статьи.

Общеизвестно положение о том, что тот не способен оценить настоящее, кто не знает прошлого, а *без знания прошлого нельзя* предвидеть будущее. Это положение, конечно, полностью относится и к информологии. Здесь существенными моментами являются:

— изучение важнейших вех, определяющих ее формирование;

— нахождение решающих скачков в ее развитии;

— определение генеральных направлений развития в настоящее время и в будущем.

Теория связи и теория информации, составляющие информологию, возникли из практических потребностей электро- и радиосвязи. Важнейшей проблемой здесь *являлась острая нерешенная еще* и в наши дни проблема «тесноты в эфире» и повышения помехоустойчивости радиотехнических систем. Рост потребности в развитии радиовещания, например, привел к тому, что количество радиостанций в мире стало быстро возрастать, и они стали мешать друг другу. Уже во второй половине двадцатых и в начале тридцатых годов нашего столетия перед наукой был поставлен вопрос о том, можно ли увеличить количество радиостанций в каждом данном диапазоне радиоволн и чем определяется это количество?

Важнейшими *вехами в истории научных исследований*, посвященных разрешению этой выдвинутой практикой проблемы, и одновременно вехами в истории возникновения информологии являются:

— теоретические и экспериментальные исследования, проведенные в конце двадцатых и в начале тридцатых годов в Центральной радиолаборатории в Ленинграде и показавшие возможность раздельного приема радиостанций с перекрывающимися спектрами частот [см.: Центральная радиолаборатория в Ленинграде, 1973; Сифоров В. И., 1936];

— теоретические исследования В. А. Котельникова о пропускной способности «эфира» и проволоки [1933] и Д. В. Агеева по теории селекции сигналов, проведенные в начале тридцатых годов [1935].

В исследованиях В. А. Котельникова, которые имеют фундаментальное значение, было показано, что при полном отсутствии помех не от радиостанций, а, например, от промышленных, атмосферных, космических или внутренних флуктуационных шумов радиоприемника в принципе можно в каждом данном диапазоне радиоволн разместить неограниченно большое количество радиостанций, программы которых можно будет принимать без взаимных помех.

Следующим важным этапом было создание В. А. Котельниковым в середине сороковых годов теории потенциальной помехоустойчивости [1946]. Эта теория также имеет фундаментальное значение. Ее применение для разнообразных встречающихся в практике форм и видов полезных сигналов на передающем конце линии связи дало возможность судить о том, насколько данная конкретная приемная аппаратура, по своим свойствам способная выделять полезный сигнал из смеси его с помехами, близка к наилучшей возможной.

Дальнейший важный шаг в становлении теории информации был сделан американским ученым Клодом Шенноном. В своем фундаментальном труде, посвященном статистической теории связи и опубликованном в 1948 г. [Шеннон К., 1963, с. 243—332], он доказал, в частности, свою знаменитую теорему о пропускной способности канала связи. Эта теорема утверждает, что при скоростях передачи, меньших некоторой константы, которая называется пропускной способностью канала, существуют методы передачи и приема (кодирование и декодирование), позволяющие восстанавливать передаваемый сигнал со сколь угодно малой вероятностью ошибки, несмотря на наличие помех. Другая часть этой теоремы Шеннона утверждает, что при скоростях передачи, превышающих пропускную способность, не существует таких методов кодирования и декодирования, которые обеспечивали бы восстановление передаваемого сигнала со сколь угодно малой вероятностью ошибки.

Фундаментальными исследованиями К. Шеннона было завершено становление теории информации. Открытые в ней законы передачи информации по каналам связи при наличии помех позволили для многих моделей каналов определить их пропускные способности, т. е. наибольшие возможные скорости передачи информации при использовании надлежащего кодирования на передающем конце и декодирования на приемном конце рассматриваемой модели канала.

Подобно тому как в физике были установлены соответствующие единицы для измерения различных физических величин, например, массы, плотности и т. п., так и в теории информации была установлена единица количества информации, называемая двоичной единицей или битом. Она соответствует такому количеству информации, которое передается в случае, если на приемном конце канала связи принимается один из двух равновероятных сигналов, посылаемых передающим устройством этого канала.

Установление способа и единицы измерения информации явилось *важным этапом в формировании информологии*, открывшим возможность количественного изучения разнообразных информационных процессов.

Одним из наиболее важных действий с информацией является ее передача. При передаче информации по какому-либо одному каналу связи имеют место следующие процессы: выбор сигналов, отображающих передаваемое сообщение, преобразование передаваемого сообщения в сигналы, формирование сигнала, включающего кодирование и модуляцию, передача сигналов по каналу с воздействием помех, прием сигналов, включающий демодуляцию и декодирование, обработка и извлечение полезной информации.

Если же передача информации происходит по сложной сети связи, то к указанным выше действиям добавляются следующие:

— распределение информации, т. е. обеспечение на промежуточных узлах приема информации передачи ее в направлении, определяемом адресом, назначением информации и обстановкой на сети;

— запоминанием информации на промежуточных узлах ее приема и коммутации;

— извлечение информации из запоминающих устройств и направление ее по соответствующим каналам сложной сети.

Процессам передачи информации посвящено огромное количество работ. Сюда, в частности, относятся многочисленные исследования в области кодирования и декодирования. В последнее время большое внимание уделяется проблеме уменьшения сложности декодирующих устройств. В этой области достигнуты успехи, в частности, в Институте проблем передачи информации АН СССР.

Фундаментальное значение для теории информации имеет понятие сложности. Современная наука и техника весьма часто *имеют дело со сложностями разного рода — сложностью задачи*, вычислений, объекта, проектирования и т. д. Большое значение имеет разработанная А. Н. Колмогоровым и другими советскими математиками концепция сложности, заключающаяся в том, что количественно относительная сложность двух объектов определяется минимальной длиной программы (алгоритма) получения описания одного объекта из описания другого. При этом фундаментальное значение имеет также положение о том, что эта минимальная длина программы является инвариантной по отношению к использованному языку, на котором записана программа.

Взаимосвязь информологии и кибернетики

Различие между информологией и кибернетикой заключается прежде всего в том, что информология изучает процессы и законы, имеющие место при проведении различных действий с информацией, а кибернетика имеет дело с процессами и законами управления.

Имеются различные определения кибернетики. Приведем некоторые из них.

А. И. Берг [1961, с. 29] определяет кибернетику как науку, которая изучает процессы управления в сложных динамических системах. Н. Винер [1958] определяет кибернетику как теорию управления и связи в машинах и живых организмах. В. М. Глушков рассматривает кибернетику как науку «об общих законах преобразования информации в сложных управляющих системах» [1964 (а), с. 53].

Нам представляется, что в настоящее время информология и кибернетика являются отдельными науками, но в то же самое время, как и многие другие науки, они взаимодействуют друг с другом.

С генетической точки зрения информология и кибернетика существенно отличны друг от друга. Информология возникла из потребностей техники связи, а кибернетика — из потребностей автоматики.

Информология и кибернетика различаются не только тем, что они возникли из различных наук и областей техники, но также и тем, что каждая из этих наук в наши дни имеет свои специфические методы исследования. Что касается объектов, исследуемых каждой из этих наук, то они частично совпадают и частично различаются. Информационные свойства веществ и процессов неорганической природы изучаются в информологии, а кибернетика не изучает эти процессы потому, что в этих видах и формах движения материи нет процессов управления.

Взаимодействие информологии и кибернетики имеет много различных аспектов. Одним из них является создание теорий, содержание которых находится на стыке этих наук. К таким теориям, в частности, относится информационная теория управления, разрабатываемая научной школой Б. Н. Петрова [1968]. Другим важным аспектом является тенденция к синтезу информологии и кибернетики,— тенденция, отображающая общую закономерность в развитии современной науки, выражающуюся в синтезе не только смежных, но и далеких друг от друга наук.

Некоторые тенденции в развитии информологии и кибернетики

Развитие тенденции к синтезу знаний в условиях научно-технической революции определяется как потребностями практики, так и требованиями внутренней логики науки.

Одним из проявлений этой общей тенденции к синтезу является создание комплексных сложных технических систем и, в частности, основанных на использовании законов, результатов фундаментальных исследований и достижений, добытых в информологии и кибернетике. Типичным примером такой системы являются сети вычислительных машин или, как их часто называют, «инте-

гральные информационно-вычислительные системы». Такого рода системы состоят из связанных между собой электронно-вычислительных машин различной специализации, выполняющих как вычислительные функции, так и функции управления, в том числе и управления самой системой.

Появление таких систем обусловлено, с одной стороны, развитием вычислительной техники, а с другой стороны, прогрессом в области информологии и техники связи. Вычислительная техника развивалась по пути одновременного использования одной вычислительной машины многими пользователями. На этом пути были пройдены такие этапы, как одновременный счет в машине нескольких программ, пакетный режим, системы с разделением времени, режим работы в реальном масштабе времени. Кроме того, был накоплен большой опыт в построении больших хранилищ или, как говорят, банков информации и информационно-поисковых систем.

Одновременно с этим имел место значительный прогресс в технике связи, обусловленный, в свою очередь, использованием фундаментальных результатов, полученных в информологии. В частности, здесь существенную роль играет переход на систему передачи любой информации в цифровом виде. Важным моментом также является использование методов вычислительной техники при построении узлов коммутации, которые в настоящее время представляют собой сложные специализированные ЭВМ со многими процессорами.

В результате такого синтеза вычислительной техники и техники связи появились качественно новые технические объекты, в которых сеть связи и сеть ЭВМ образуют единую систему с качественно новыми свойствами. Такого рода системы обладают высокой надежностью и живучестью, возможностями неограниченного наращивания системы, а также позволяют организовать обработку информации с высокой эксплуатационной скоростью. Эти системы дают возможность обеспечить оптимальное использование их ресурсов — математического обеспечения, вычислительных мощностей и т. д.

Ситуация, складывающаяся в наши дни в области рассмотренных комплексных систем, аналогична ситуации, которая была перед появлением энергетических электросетей. Не подлежит сомнению, что в сравнительно недалеком будущем иметь собственную вычислительную машину, например, для научного института или завода, будет так же неразумно, как иметь сейчас свою электростанцию. Обеспечение необходимыми вычислительными мощностями будет достигаться путем подключения к сети ЭВМ, подобно тому, как сейчас потребитель подключается к энергосети.

В дальнейшем тенденция к синтезу больших технических систем приведет фактически к слиянию в единую сверхбольшую техническую систему, которая будет включать в себя:

— единую автоматизированную сеть связи;

— систему вычислительных центров и электронных вычислительных, управляющих и других машин;

— системы информационного обеспечения различных уровней;

— автоматизированные системы управления различных уровней;

— системы научной и технической информации;

— системы вещания и телевидения и т. д.

Для создания такой сверхбольшой системы и рационального последующего ее развития научные исследования в области информологии и кибернетики будут иметь решающее значение.

Человеческий разум и искусственный интеллект

Имеющиеся в наши дни определения понятий мышления и разума в основном правильно отражают специфику человеческого интеллекта. Однако и здесь также выдвинуты гипотезы о возможных иных, чем на Земле, видах и формах мышления и разума, например, гипотезы о внеземных цивилизациях. Не исключена также возможность, что и в условиях нашей планеты в результате длительной эволюции и качественных скачков в развитии мышления и разума человека появятся новые формы мышления и разума. *В результате научных исследований в области искусственного интеллекта*, построения «разумных» машин, также будут открыты другие, качественно отличающиеся от ныне существующих виды и формы «разума» и «мышления». С этих позиций определения понятий «разума» и «мышления» должны быть уточнены в соответствии с достижениями науки в будущем.

Что касается определения и содержания понятия машины, то уже в наши дни в период научно-технической революции в свете больших достижений информологии и кибернетики понятие о машине меняется. В понятие машины теперь естественно входят не только прежние машины, преобразующие одни виды энергии в другие, но и машины, преобразующие информацию, в частности электронные вычислительные машины и различные технические системы искусственного интеллекта.

Выяснение возможностей машинной обработки информации *привело к общеизвестной дискуссии по вопросу о том, может ли* машина мыслить. Ее содержание отражено во многих публикациях [см.: «Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная», М., 1968]. Резюмируя высказанные в этой дискуссии взгляды ученых-естествоиспытателей и философов, можно констатировать следующие три точки зрения:

1) этот вопрос не актуален и им вообще заниматься не следует;

2) мыслить может только человек, а машина — никогда;

3) машины в процессе своего совершенствования в конечном счете будут способны мыслить и, в принципе, выполнять все те функции, которые присущи человеческому разуму.

На вопрос о том, какая из этих точек зрения является правильной, даются различные ответы. Приведем некоторые из этих ответов.

А. Н. Колмогоров дает следующий ответ:

«Очень часто задают такие вопросы.

Могут ли машины воспроизводить себе подобных и может ли в процессе самовоспроизведения происходить прогрессивная эволюция, приводящая к созданию машин существенно более совершенных, чем исходные?

Могут ли машины испытывать эмоции: радоваться, грустить, быть недовольными чем-нибудь, чего-нибудь хотеть?

Могут ли, наконец, машины сами ставить перед собой задачи, не поставленные перед ними их конструкторами?

Иногда пытаются отделаться от этих вопросов или обосновать отрицательные ответы на них....

...Однако в рамках материалистического мировоззрения не существует никаких состоятельных принципиальных аргументов против положительного ответа на наш вопрос. Более того, этот положительный ответ является сейчас современной формой убеждений о естественном возникновении жизни и материальной основе сознания» [Колмогоров А. Н., 1968, с. 14, 19, 20].

Противоположные ответы даются в разделе под названием «Машина не может жить, плесень не способна мыслить» указанного выше сборника статей по кибернетике.

В чем же заключаются причины, обусловливающие такое расхождение точек зрения? Одной из них является то обстоятельство, что перед началом дискуссий не были в надлежащей мере уточнены основные понятия, фигурирующие в дискуссии, т. е. понятия машины, жизни, мышления и разума.

В самом деле, если произвести уточнение этих понятий и провести дальнейшее их уточнение, то тогда в значительной мере уменьшилось бы расхождение точек зрения.

Однако следует подчеркнуть, что имеются и другие причины расхождения точек зрения в указанной дискуссии. Одной из таких причин является то обстоятельство, что в этой дискуссии не были в достаточной мере рассмотрены понятия машины, жизни, мышления и разума с позиций дальнейшего процесса их развития,— процесса их эволюции и неизбежных качественных скачков.

Дело заключается в том, что человеческое мышление не остается неизменным. Оно развивается и видоизменяется. В процессе такого развития неизбежно возникнут и коренные качественные скачки. Нам представляется, что человек, глубоко познав самого себя, детально изучив «устройство» своего мозга и законы мышления и наследственности, будет активно воздействовать на самого себя, и эта обратная связь на некотором этапе, возможно, приведет к качественному скачку в его развитии и появлению новых форм движения материи, более высоких и качественно отличных от всех ныне существующих [см.: Сифоров В. И., 1963, с. 95].

Иначе говоря, в процессе развития появятся новые, более высокие формы мышления и, в частности, мышление второго порядка с присущими ему специфическими законами развития.

Что касается развития машин и того, какими свойствами они будут обладать в ближайшем и более далеком будущем, то это зависит от направления их развития, которое, в свою очередь, определяется действием законов развития общества. Мы всегда строим машины для определенных целей. Не подлежит сомнению, с нашей точки зрения, что в результате работ в области искусственного интеллекта, а также исследований в области информологии и кибернетики будут созданы «мыслящие» машины, обладающие с современной точки зрения, казалось бы, «невозможными» свойствами. Однако характер их «мышления» или «разума» качественно будет отличаться от мышления или разума современных людей хотя бы потому, что условия формирования «мышления» будущих машин будут в корне отличаться от условий формирования мышления современных людей. Таким образом, потенциально создание «мыслящих машин», по-видимому, возможно, но в силу сказанного выше эта возможность не будет превращена в действительность.

Изложенная в начале настоящего раздела вторая точка зрения, согласно которой мыслить может только человек, а машина — никогда, является несостоятельной. Такого рода необоснованные и категорические запреты являются лишь тормозом для дальнейшего развития науки.

В соответствии с положениями, высказанными в одной из наших работ [1963], мы полагаем, что машины в процессе своего развития неизбежно приобретут принципиально новые свойства. Они будут представлять собой качественно новую форму движения материи, развивающуюся по своим внутренним специфическим законам, в корне отличающимся от законов развития современной техники, с одной стороны, и живой природы,— с другой.

Создание описанной в одном из предыдущих разделов данной статьи сверхбольшой технической системы явится первым, начальным этапом формирования принципиально новой техники.

Литература

Агеев Д. В. Основы теории линейной селекции.— Научно-технический сборник ЛИИС, 1935, № 10.

Акчурин И. А. Теория элементарных частиц и теория информации.— В кн.: Философские вопросы физики элементарных частиц. М., 1964.

Берг А. И. Кибернетику — на службу коммунизму. (Введение).— В сб.: «Кибернетику на службу коммунизму». М.— Л., 1961.

Бирюков Б. В., Тростников В. Н., Урсул А. Д. Информация как научное и метанаучное понятие.— В кн.: *Гришкин И. И.* Понятие информации. М., 1973.

Винер Н. Кибернетика, или управление и связь в животном и машине. М., 1958.

Глушков В. М. Мышление и кибернетика.— В кн.: Диалектика в науках о неживой природе. М., 1964.

Глушков В. М. О кибернетике как науке.— В кн.: Кибернетика, мышление, жизнь. М., 1964(а).
Гришкин И. И. Понятие информации. М., 1973.
Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная. М., 1968.
Колмогоров А. Н. Автоматы и жизнь.— В кн.: Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная. М., 1968.
Котельников В. А. О пропускной способности «эфира» и проволоки в электросвязи. Всесоюзная энергетическая комиссия. Материалы к первому съезду по вопросам реконструкции дела связи и развития слаботочной промышленности. М., 1933.
Котельников В. А. Принцип потенциальной помехоустойчивости при флуктуационных помехах Докторская диссертация. М., 1946.
Новик И. Б. Негэнтропия и количество информации.— «Вопросы философии», 1962, № 6.
Петров Б. Н., Петров В. В, Уланов П. М., Агеев В. М., Запорожец А. В., Кучубиевский И. Д., Май В. П. Усков А. С. Начала информационной теории управления.— В кн.: Итоги науки и техники, серия «Автоматика и радиоэлектроника», вып Техническая кибернетика. М., 1968.
Сифоров В. И. Исследование методов радиоприема, основанных на использовании селекции по амплитуде, фазе и продолжительности действия. (Докт. дисс.) М., 1936.
Сифоров В. И. Общие тенденции современного естествознания.— «Вопросы философии», 1963. № 4.
Теория информации. Терминология, вып. 64. М., 1964.
Тюхтин В. С. Отражение и информация.— «Вопросы философии», 1967, № 3.
Тюхтин В С. Отражение, системы, кибернетика. М., 1972.
Урсул А. Д. О природе информации.— «Вопросы философии». 1965, № 5.
Урсул А. Д Информация и кибернетика.— «Природа», 1972, № 5.
Центральная радиолаборатория в Ленинграде. М., 1973
Эшби У. Р. Введение в кибернетику. М., 1958.
Шеннон К. Математическая теория связи.— В кн.: *Шеннон К.* Работы по теории информации и кибернетике. М., 1963.
Carnap R., Bar-Hillel J. An Outline of Theory of Semantic Information.— «Techn. Report.» M. Y. T. 1952, N 247.

СЕМАНТИЧЕСКАЯ ИНФОРМАЦИЯ. ПОНЯТИЯ ЭКСТЕНСИОНАЛЬНОЙ И ИНТЕНСИОНАЛЬНОЙ ИНФОРМАЦИИ

Е. К. Войшвилло

Согласно распространенным и почти общепринятым способам определения меры семантической информации она рассматривается как функция вероятности высказывания. Таково, в частности, определение, введенное Д. Бар-Хиллелом и Р. Карнапом (Bar-Hillel J. and Carnap R., 1953) и его обобщения И. Кемени (Cemeny J., 1953, 1956) и Я. Хинтиккой (Hintikka J., 1970, 1973). Этим оценкам присущи некоторые черты, в силу которых подразумеваемое при этом понятие семантической информации не согласуется с интуицией.

Речь идет прежде всего о двух характерных особенностях этого понятия: (1) противоречивое высказывание содержит в себе всю возможную (выразимую в том языке, к которому относит-

ся данное высказывание) информацию или, если иметь в виду количественную оценку, бесконечную информацию и (2) логически истинное высказывание (высказывание, представляющее закон логики) не содержит никакой информации. Это понятие согласуется с подразумеваемой трактовкой содержания высказывания (по крайней мере содержания, связанного с логической формой высказывания и представляющего собой именно собственное содержание высказывания, о чем речь пойдет ниже) в так называемой классической, или экстенсиональной, *логике, в которой, согласно принятому определению* логического следствия, из противоречия следует все, что угодно, а логически истинное высказывание является следствием любого высказывания[1]. Учитывая это, указанное понятие информации можно назвать экстенсиональным, или, что, видимо, точнее, понятием экстенсиональной информации.

В логике в настоящее время построен ряд систем, в которых отношение логического следования лишено указанных особенностей и благодаря этому больше соответствует интуиции. Эти системы называют релевантными или интенсиональными логиками. Параллельно разработке систем этого рода (и, по-видимому, в связи с ними) возникла идея разработки соответствующего понятия информации. В отличие от экстенсионального его естественно называть интенсиональным или, видимо, точнее — понятием *интенсиональной информации.* Однако упомянутые интенсиональные логические системы, которые могли бы помочь в выяснении содержания понятия интенсиональной информации, не имеют до сих пор содержательных интерпретаций. Попытка его определения предпринята, например, А. Черчем; однако она оказалась неудачной [см.: Уэлз Р., 1965]. В статье Р. Уэлза приведена система аксиом, которым, по мнению автора, должно удовлетворять это понятие. Автор имеет в виду понятие, подразумеваемое в одной из упомянутых выше релевантных логических систем (в системе E-Entailment — А. Андерсона и Н. Белнапа). Но без содержательной интерпретации этих аксиом, как и аксиом соответствующих логических систем, интересующее нас понятие остается неопределенным.

Ниже мы попытаемся выяснить содержание этого понятия для высказываний классической пропозициональной логики.

Но предварительно необходимо дать критический анализ трактовки семантической информации и существующих способов количественной оценки. А для этого важно выяснить некоторые аспекты отношения между понятием «информация» в статистической теории информации (это понятие мы называем статистическим) и существующим понятием семантической информации.

[1] *Логическое следование «$A \vdash B$» естественно понимать как отношение: «информация (содержание) B* составляет часть информации (содержания) *A».* В силу этого в указанном понятии следования в классической логике неявно содержится и определенная трактовка содержания (информации) высказывания.

Соотношение понятий статистической и семантической информации. Понятие экстенсиональной информации

Обычно подчеркивается принципиальное различие между упомянутыми понятиями [см: Bar-Hillel J. and Carnap R., 1953, с. 147]. Нам хотелось бы, наоборот, выяснить связь между ними. Наличие этой связи не исключает, конечно, определенных различий, и прежде всего мы сосредоточим внимание именно на том, что разделяет обсуждаемые понятия. В статистической теории, как известно, информация рассматривается как характеристика случайного исхода, опыта, представляющего собой случайный выбор из некоторого множества возможностей. Мера информации отождествляется при этом со степенью неопределенности, или энтропией, опыта (выбора).

Если возможные исходы опыта α суть A_1, A_2,..., A_m, вероятности которых $P(A_i)$, то энтропия опыта согласно известной формуле Шеннона

$$h(\alpha) = -k \sum_{i=1}^{m} P(A_i) \ln P(A_i),$$

где k — постоянная, значение которой зависит от выбора единиц измерения информации и энтропии, ln — натуральный логарифм.

Если в качестве единицы взять неопределенность опыта с десятью равновероятными исходами, то

$$h(\alpha) = -\sum_{i=1}^{m} p(A_i) \log (A_i) \tag{1}$$

(*log — десятичный логарифм*).

Информация исхода опыта α

$$i(\alpha) = h(\alpha). \tag{2}$$

В случае сложного опыта, состоящего в последовательном осуществлении опытов α_1, α_2,..... α_n, имеем:

$$i(\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n) = h(\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_n) = h(\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_{n-1}) + \\ + h_{\alpha_1, \ldots \alpha_{n-1}}(\alpha_n), \tag{3}$$

где $h_{\alpha_1, \alpha_2 \ldots \alpha_{n-1}}(\alpha_n)$ — условная энтропия (энтропия опыта α_n при условии осуществления опытов α_1, α_2,... α_{n-1}).

$$h_{\alpha_1, \alpha_2, \ldots \alpha_{n-1}}(\alpha_n) = -\sum_{i_1, i_2, \ldots i_n} p(A_{i_1}, A_{i_2}, \ldots, A_{i_n}) \cdot \\ \cdot \log p(A_{i_n}/A_{i_1} \ldots A_{i_{n-1}}), \tag{4}$$

где $p(A_{i1}, A_{i2} \ldots A_{in})$ — вероятность сложного события A_{i1}, A_{i2},... A_{in};

а $p(A_{i_n}/A_{i_1}, A_{i_2},..., A_{i_n})$ — условная вероятность исхода A_{i_n} опыта α_n при наличии исходов A_{i1}, A_{i2}..., A_{in-1} опытов α_1, α_2,..., α_{n-1}. Если опыт состоит в случайном выборе сообщения из n знаков (определенного алфавита), то соотношение (4) дает меру информации, приходящейся на n-й знак сообщения, а сумма этих величин для всех знаков сообщения, согласно (3),— меру информации сообщения в целом.

Очевидно, что информация здесь не имеет отношения к содержанию сообщения. В противном случае бессмысленно было бы говорить об информации, связанной с одним знаком сообщения. Она является характеристикой сообщения лишь как некоторой комбинации знаков и зависит от степени редкости появления этой комбинации. Информация сообщения тем больше, чем меньше вероятность появления (в некотором процессе случайного выбора или порождения сообщений) данной последовательности знаков.

Понятие семантической информации представляет собой (или должно представлять по идее) характеристику некоторого высказывания, относящуюся к его содержанию. *Общая идея определения* меры семантической информации i (A) высказывания A [Bar-Hillel J. and Carnap R; Hintikka J., Cemeny J. G.]состоит в следующем. Имеется некоторое непустое, конечное множество исходных (абстрактных, не связанных ни с какой информацией) возможностей (возможных положений дел, возможных интерпретаций дескриптивных терминов языка заданной области или «возможных миров») [2], которым каким-то образом приписаны определенные вероятности. Принятие данного высказывания A обусловливает исключение некоторых возможностей. Сумма вероятностей, остающихся (допустимых для A) возможностей рассматривается как вероятность $p(A)$ высказывания A. При этом $i(A)=-\log p(A)$.

Конечно, это соотношение может быть распространено на любые случаи, в которых есть возможность определить вероятность высказывания A независимо от того, каким образом это достигается. В отличие от оценок информации в статистической теории инфор-

[2] У Бар-Хиллела и Карнапа — это множество «описаний состояний», конечность которого обеспечивается тем, что рассматриваются высказывания в языке без переменных, с конечным числом предикатов и индивидуальных констант. У Кемени — множество возможных интерпретаций дескриптивных терминов высказывания языка логики предикатов (или дедуктивной системы с нелогическими аксиомами), конечное в случае конечности области значений индивидных переменных. Хинтикка достигает обобщения, введя понятие дистрибутивной нормальной формы для высказываний первопорядковой логики предикатов. Исходное множество — это множество возможных тривиально непротиворечивых конституэнт (обобщенных аналогов «описаний состояний») *для данной формулы. (Вероятность* и мера информации высказывания зависят от числа непротиворечивых конституэнт его дистрибутивной формы, однако в силу неразрешимости логики предикатов не существует эффективного способа выявления непротиворечивых конституэнт; с этим связано у Хинтикки интересное с философской точки зрения различение поверхностной и глубинной информации высказывания.)

мации, где используется частотное понятие вероятности, здесь имеется в виду логическая вероятность. Однако это различие не является существенным. Если, например, имеется простое высказывание вида $P(a)$ [о наличии у предмета a свойства P] и может быть определена относительная частота появления P в классе, к которому относится a, а тем самым и вероятность наличия данного свойства у данного предмета, то она должна совпадать с логической вероятностью данного высказывания.

Теперь мы можем установить то, что является общим и в чем различаются статистическое и семантическое понятия информации. С этой целью надо обратиться к возможной семантической интерпретации статистических понятий и соотношений. Интерпретация такого рода была предложена автором в свое время [Войшвилло Е. К., 1966]. Здесь мы вынуждены повторить основные положения.

Начнем с понятия опыта. «Опыт», «выбор» естественно связывать с некоторым вопросом или проблемой. Осуществляя опыт (выбор), вообще говоря хотят получить ответ на некоторый вопрос, достичь какой-то цели, решить некоторую проблему. Выбирая, например, шар из урны, в которой есть белые и красные шары, а среди тех и других — шары со звездочками и без них, мы хотим извлечь либо белый, либо красный шар, шар со звездочкой или без звездочки, либо белый со звездочкой и т. д. В зависимости от цели по-разному будет подсчитываться (по формуле Шеннона) и энтропия опыта. В подобных случаях опыт может трактоваться как вопрос «будет ли исход A_i?» (из множества возможных исходов $A_1,... A_m$). И энтропию опыта естественно рассматривать как характеристику данного вопроса «A»? Энтропия здесь — показатель степени сложности вопроса или показатель того, какие шансы имеются для того, чтобы получить утвердительный ответ на него в результате (случайного) выбора или, наконец, как мера недостаточности информации для положительного его решения. Исход опыта A_i в семантической интерпретации есть высказывание «выбрано A_i», а информация такого исхода есть семантическая информация, которую содержит это высказывание. Сложному опыту $(\alpha_1..., \alpha_n)$, например выбору сообщения из «n» знаков, должен соответствовать сложный (конъюнктивный) вопрос A_1?, A_2?,..., A_n? (будет ли первый знак сообщения A_1? и будет ли второй знак A_2? и.... и n-й знак A_n?).

Информация исхода опыта — это семантическая информация сложного (конъюнктивного) высказывания «A_1 A_2... A_n» (где A_i — простое высказывание «результат выбора есть A_i»). При этом информация опытов, состоящих в выборе сообщений, оказывается семантической информацией, характеристикой высказываний о знаковых формах сообщений (но не самих этих сообщений; правда, в определенных случаях та и другая могут совпадать).

Нетрудно установить, что и количественные оценки информации исходов опыта в статистической теории совпадают с указан-

ной выше оценкой семантической информации. Различие состоит *лишь в том, что в статистической теории имеют дело в основном* со средними оценками. В случае, когда исходы $A_1,\ldots, A_m$ некоторого опыта равновероятны, формула Шеннона приводит к величине (энтропии и информации опыта) — $-\log p(A_i)$, то есть к той же оценке информации высказывания «A_i» («имеет место исход A_i» для любого i $1\leqslant i\leqslant n$). Если вероятности $p(A_i)$ не одинаковы для различных i, энтропия вопроса «A_i» и информация высказывания «A_i» также есть $-\log\ p(A_i)$. Но формула Шеннона дает среднее значение случайных величин $-\log\ p(A_i)$, имеющих вероятности $p(A_i)$. Иначе говоря, это среднее значение информации, которое можно получить при повторении опыта достаточно большое число раз [3].

Предыдущее изложение наводит на мысль о полезности рассматривать информацию высказываний как некоторую характеристику отношения высказывания к вопросу. Подобный подход напрашивается сам собой, если учесть, что практически потребность в информации возникает в связи с необходимостью решения тех или иных вопросов или проблем (не случайно обычным является выражение «информация по вопросу...»). Вместе с этим энтропию вопросов целесообразно оценивать с учетом тех или иных данных. Таким образом, имеем понятия $h(A?\ \Gamma)$ — энтропии вопроса $A?$ при наличии множества (Γ) высказываний (представляющих некоторые сведения, данные) и $i\ (A/B?/\Gamma)$ — меры информации высказывания A по отношению к вопросу $B?$ при наличии данных Γ. В качестве частных случаев допускается пустота Γ. Значения для этих величин определяются соотношениями (опять-таки аналогичными соотношениям статистической теории):

$$h(A?/\Gamma) = -\log p(A/\Gamma), \tag{6}$$

где $p(A/\Gamma)$ — условная вероятность — степень правдоподобия высказывания A при наличии данных Γ;

$$i(A/B?/\Gamma) = h(B?/\Gamma) - h(B?/\Gamma, A) \tag{7}$$

Таким образом, информация высказывания A по отношению к вопросу $B?$ есть мера уменьшения энтропии вопроса при допущении или установлении истинности A. (Конечно, A может и увеличивать энтропию $B?$, и в этом случае значение $i\ (A/B?)$ становится отрицательным [4].

[3] В упомянутой статье величина, вычисляемая по формуле Шеннона, трактовалась как энтропия сложного (дизъюнктивного) вопроса: $A_1? \vee A_2? \vee \ldots A_n?$ Однако оказалось, что подобное истолкование связано с определенными трудностями.

[4] Существует мнение о необходимости отличать семантическое понятие информации от того смысла, который имеет слово «информация» в обиходном употреблении, когда оно обозначает то же, что «данные», «сведения». Л. Тондл, например, пишет: «Очевидно, что не каждое сведение способно... снижать энтропический уровень в связи с данным комплексом задач и целей, связанных с этими задачами» [Тондл Л., 1972, стр. 190]. Трак-

Информация высказывания само по себе естественно должна трактоваться как $i(A/A?)$.

Из (7) следует, что $i(A)=h(A?)-h(A?/A)=h(A?)$.

Полученное обобщенное понятие включает наряду с семантическим также прагматический аспект информации, например, в смысле А. А. Харкевича [1960] оценка информации как меры полезности ее для достижения некоторой цели. «Вопрос» здесь понимается как некоторая проблема, возможно связанная с какой-то практической целью, для достижения которой необходима некоторая информация. Если при этом $i(A, B?)>0$, то имеем меру информации, полезной для достижения цели (и меру ее полезности).

В качестве другого частного случая обобщенного понятия информации мы получаем то, что Я. Хинтикка [Hintikka J., 1970] называет перенесенной информацией [см. также Тондл Л., 1972, с. 198]. Имеется в виду мера снижения уровня неопределенности, связанной с некоторым высказыванием B, сдвиг неопределенности с принятием высказывания A, определяемая как

$$i(B) - i(B/A) = \log \frac{p(B/A)}{p(B)} .$$

Условившись связывать неопределенность с вопросами, мы бы представили данное понятие как $i(A/B?)$. Согласно (7) и (6),

$$i(A/B?) = h(B?) - h(B?/A) = -\log p(B) + \log p(B/A) =$$
$$= \log \frac{p(B/A)}{p(B)} .$$

Естественным образом можно ввести теперь понятие подтверждения некоторой гипотезы B тем или иным высказыванием A. Это отношение имеет место, если и только если $i(A/B?)>0$ [5]. Используя понятие $i(A/B?/\Gamma)$, просто ввести также понятия дедуктивной и индуктивной систематизации теории по отношению к некоторому классу предложений.

Если Γ — совокупность утверждений теории, A и B — предложения наблюдения и выполняются обычные условия в определении дедуктивной систематизации теории (неверно, что $A \vdash B$, что равносильно $h(B?/A)\neq 0$), то при $h(B?/\Gamma, A)=0$ теория Γ осуществляет дедуктивную систематизацию по отношению к классу предложений наблюдения, то есть имеем Γ, $A \vdash B$. При тех

туя информацию как отношение высказываний к вопросам (кстати, «энтропический уровень», о котором только что упоминалось, естественно связывать именно с вопросами), мы понимаем ее именно как «данные», «сведения». В определенных случаях может получиться, что высказывание не влияет на энтропию вопроса, но это может свидетельствовать только о том, что оно не релевантно данному вопросу.

[5] Весьма просто выводится также известная формула последующего подтверждения гипотезы $p(h/0, E) = \frac{p(h/e)\cdot p(0/h,e)}{p(0/e)}$. Она является непосредственным следствием соотношения $i(h/0?/E) = i(0/h?/E)$, которая в свою очередь, выводима из известных соотношений теории вероятности.

же условиях относительно Γ, A и B и при обычных условиях в определении индуктивной систематизации (A и B не логически истинны, неверно, что Γ, $A \vdash B$ и что A подтверждает B), если $i(A/B?/\Gamma)>0$, то теория Γ осуществляет индуктивную систематизацию по отношению к классу предложений наблюдения. Эти и некоторые другие понятия и соотношения рассматриваются с информационной точки зрения в работах ряда авторов (см. Тондл Л., 1972). Однако, как нам представляется, все они и связанные с ними соотношения описываются более просто с использованием понятия энтропии (неопределенности) вопроса и указанного *обобщенного понятия информации. Без введения понятия энтропии* вопросов не вполне ясным оказывается смысл таких выражений, используемых Л. Тондлом и другими авторами, как «неопределенность данного высказывания», «неопределенность того, к чему относится данное высказывание», «неопределенность по отношению к тому, к чему относится данное высказывание», «допустимый уровень неточности при предсказании» и т. п.

Следует остановиться на определении меры семантической информации как функции вероятности высказывания. При такой *оценке количества информации в теории семантической информации* появляются те же расхождения с интуицией, которые свойственны статистическому понятию информации. Однако в теории семантической информации при рассмотрении ряда аспектов эти расхождения превращаются уже в серьезные недостатки теории. Естественно, например, считать, что информация высказывания тем больше, чем более широк круг выводимых из него различных следствий или, что то же, чем больший круг вопросов разрешается с его принятием. Между тем при трактовке информации как функции вероятности — это не всегда так.

Если, например, находясь на берегу Балтийского моря, поднимая с земли некий предмет и предполагая, что это морская галька, я обнаруживаю кусок янтаря, то высказывание «этот предмет есть кусок янтаря» содержит значительно большую информацию, чем высказывание «это — галька», поскольку вероятность первого (до осуществления опыта) значительно меньше, чем второго. Но едва ли можно говорить, что из первого высказывания (хотя бы в сочетании с другими известными мне данными Γ) я могу извлечь больше следствий, чем из второго, тем более, если уже известно, что на берегу Балтийского моря попадают куски янтаря. По крайней мере, множества следствий, выводимых из одного и другого, не будут находиться в том же отношении, какое существует между информациями высказываний. Информация, которая здесь подразумевается,— это просто мера неожиданности, а не характеристика содержания высказывания самого по себе. Это $i(A/A?/\Gamma)$ (в Γ включаются и те сведения, на основе которых определяется вероятность A). Очень высокая вероятность A означает, что нам уже почти наверняка известно, что имеет место ситуация, описываемая в A. И естественно тогда, что A (как реше-

ние вопроса $A?$) очень мало содержит информации. В крайнем случае, когда среди Γ имеются данные об истинности A, A не содержит вообще никакой информации.

Таким образом, информация, определяемая как функция вероятности, есть, вообще говоря, информация данного высказывания при наличии некоторых данных (т. е. $i(A/A?/\Gamma)$, а не характеристика содержания высказывания самого по себе. Информация высказывания, конечно, связана с его вероятностью, но лишь следующим образом: чем больше информация, тем меньше вероятность высказывания, но не наоборот. При существующем же способе определения меры информации подразумевается и обратное. При самих вероятностных оценках высказываний необходимо различать: (1) вероятность высказывания, обусловленную его собственным содержанием (его логическим содержанием, или его логической формой), и (2) вероятность, обусловленную внешними обстоятельствами и определяемую на основе дополнительных данных. Первая не зависит от содержания дескриптивных терминов. Вторая как раз зависит от него (и конечно от логической формы высказывания). Так, для высказываний pq (как и раньше опускается знак конъюнкции) и $p \vee q$ множества условий истинности — множества допустимых описаний состояний соответственно $\{pq\}$ и $\{pq, p\bar{q}, \bar{p}q\}$. Это члены совершенных дизъюнктивных нормальных форм данных высказываний. Множества членов их совершенных конъюнктивных нормальных форм $\{p \vee q, p \vee \bar{q}, \bar{p} \vee q\}$ и $\{p \vee q\}$ представляют множества выводимых из них следствий, непосредственно следствий определенного вида, а опосредствованным образом — с учетом возможности некоторых логических преобразований — и все возможные следствия [6].

Если мы хотим определить вероятности высказываний, обусловленные их собственным содержанием, то должны считать все элементарные высказывания p, q (а тем самым и их отрицания $\bar{p}$, $\bar{q}$) равновероятными. Это значит, равновероятными должны считаться и все описания состояния. Тогда вероятность первого высказывания есть 1/4 (отношение числа допустимых состояний к общему числу описаний состояний), а вероятность второ-

[6] Множества членов СДНФ и СКНФ высказывания представляют разные, но взаимосвязанные аспекты информации (см. Гришкин, 1973, стр. 45), которые находят отражение в определениях. Согласно распространенному определению, информация есть мера ограничения разнообразия (некоторого исходного множества возможностей); результат такого ограничения множества описаний состояний (с принятием высказывания A) представляет множество членов СДНФ высказывания. По другому определению — информация, наоборот, есть мера многообразия (см. Урсул А. Д., 1968, стр. 63). Это многообразие (связей и отношений действительности, детерминируемых высказыванием) представляет множество членов СКНФ. Второй экспликат информации, введенный Карнапом и Бар-Хиллелом (наряду с $i(A) = -\log p(A)$) $\mathrm{Cont}\,(A) = p(\bar{A})$, связан именно с этим множеством (СКНФ A может быть получена из СДНФ $\bar{A}$ по известным правилам образования противоположности; этим объясняется определение $\mathrm{cont}(A)$ посредством $\bar{A}$).

го — 3/4. Первое высказывание более информативно в смысле множества выводимых из него следствий, чем второе, и, как видим, вероятность его меньше. При допущении возможности приписывать различным описаниям состояний различные вероятности (в зависимости от содержания элементарных высказываний), как это делают Карнап и Бар-Хиллел, высказывания указанного вида могли бы иметь одинаковую вероятность (когда вероятности $p\bar{q}$ и $\bar{p}q$ равны 0) и, значит, одинаковую меру информации. Эта мера не была бы, очевидно, характеристикой собственных содержаний данных высказываний.

Оценка вероятности высказываний, а тем самым и основанная на ней количественная оценка их информации связана, как известно, со значительными трудностями и осуществима лишь в довольно простых случаях. Между тем, в практике познания, видимо, чаще (для сравнения высказываний, каким-то образом связанных по содержанию) необходимо не количественное, а качественное понятие информации. Мы введем такое понятие для экстенсиональной информации, а затем его интенсиональный аналог.

Нетрудно заметить, что в основе рассмотренных способов количественной оценки информации лежит представление об информации высказывания как о мере ограничения некоторого исходного множества возможностей, обусловленного принятием данного высказывания. Данное понимание информации специально развивает У. Р. Эшби [1959], Л. Бриллюэн [1960 и 1966] и, видимо, оно является почти общепризнанным. Исходя из этой трактовки, информацию высказывания A по отношению к множеству исходных возможностей $M(i(A, M))$ можно рассматривать как пару множеств $\langle M_A, M\rangle$, где M_A — множество допустимых — при условии принятия A — возможностей из M, т. е. подмножество M возможностей, остающихся после принятия A.

В случае, когда $i(A, M)$ есть $\langle M, M\rangle$, высказывание A не содержит никакой информации по отношению к M. Если $i(A, M)$ есть $\langle \varnothing, M\rangle$, высказывание A содержит всю возможную информацию по отношению к M. Нетрудно теперь определить, в каком случае информация $i(A, M)$ одного высказывания A (по отношению к множеству M) составляет часть информации $i(B, M)$ другого — B (по отношению к тому же множеству). Если $i(A, M) = \langle M_A, M\rangle$, а $i(B, M) = \langle M_B, M\rangle$, то $i(A, M)$ часть $i(B, M)$, если и только если $M_B \subseteq M_A$.

Если мы хотим иметь собственную информацию высказывания A, то в качестве M должно быть взято множество всех (априорных, не связанных ни с какой информацией) возможностей, определяемых независимо от смысла дескриптивных терминов данного высказывания. Если A — высказывание (предложение) в языке логики предикатов[7], то мы должны отвлечься от данной

[7] Имеет смысл рассматривать лишь высказывания в формализованных языках (в языках со специфицированной структурой), в которых точно определено понятие высказывания и смысл логических констант. Иначе неоп-

интерпретации его дескриптивных терминов и взять в качестве M все возможные интерпретации этих терминов или всех дескриптивных терминов некоторого множества высказываний, содержащего A[8]. (Последняя возможность используется в случаях, когда возникает необходимость сравнивать несколько высказываний по информации). M_A в таком случае будет множество всех тех интерпретаций (из M), при которых A истинно. Если A есть высказывание в языке логики высказываний, то M есть множество всех описаний состояний (содержащих все элементарные высказывания A или некоторого множества высказываний, содержащего A), а M_A — множество тех описаний состояний из M, в которых A — истинно.

Если $i(A, M)$ есть собственная информация, то будем писать просто $i(A)$. Для $i(A)$ и $i(B)$ отношение $i(B)$ есть часть $i(A)$ эквивалентно отношению логического следования $A \vdash B$ (т. е. первое имеет место, если и только если имеется второе).

Таким образом оправдывается выдвинутое выше утверждение (сноска к стр. 212) о том, что отношение логического следования можно трактовать как отношение между высказываниями по информации. Определенное здесь понятие информации высказывания является экстенсиональным. Очевидно, что логически противоречивое высказывание содержит всю возможную информацию, а логически истинное высказывание не содержит никакой информации.

Понятие интенсиональной информации

Нам остается теперь рассмотреть понятие интенсиональной информации. Мы ограничимся при этом рассмотрением высказываний языка классической логики высказываний с логическими связками $\wedge$, $\vee$, $-$ (конъюнкция, дизъюнкция, отрицание). Известно, что высказывание вида $(A \supset B)$ (где «$\supset$» материальная импликация) можно рассматривать как сокращение для $\bar{A} \vee B$ (знак конъюнкции в дальнейшем будем обычно опускать, т. е. писать AB вместо $A \wedge B$; опускаются также внешние скобки в *отдельно взятых формулах и в формулах AB, даже когда они являются* частями некоторых формул).

Для интенсиональной информации высказывания A введем обозначение $I(A)$. Она также будет представляться как пара $\langle M_A, M \rangle$, т. е. трактоваться как мера ограничения некоторого исходного множества возможностей M, обусловленного (ограничения) принятием A. M также (как и при определении $i(A)$) будет представлять собой множество описаний состояний. Однако при

определенно понятие логической формы, от которой зависит собственное содержание высказывания.

[8] Напомним, что интерпретацией называется пара: некоторое непустое множество D индивидов и функция, приписывающая значения дескриптивным терминам; причем термам в качестве значений приписываются объекты из D n-местному предикатному символу — n-местное отношение, а n-местному функциональному символу — n-местная предметная функция, определенные на D.

этом должно быть изменено само понятие описания состояния. При определении экстенсиональной информации описания состояний — при наличии элементарных высказываний $p_1, \ldots, p_n$ представляют собой конъюнкции вида $\tilde{p}_1\tilde{p}_2 \ldots \tilde{p}_n$, где $\tilde{p}_i$ есть p_i или $\bar{p}_i$. Никакое описание состояния не содержит некоторого элементарного высказывания вместе с его отрицанием. Это означает — поскольку описания состояний выражают возможные положения дел в действительности — что мы уже заранее принимаем, что в действительности не может быть противоречивых положений (не может быть, что верно одновременно p_i и $\bar{p}_i$). Иначе говоря, определяя исходные возможности, мы уже принимаем закон противоречия $p_i\bar{p}_i$ (для любого i, $1 \leqslant i \leqslant n$). Можно показать, что при этом принимается и закон исключенного третьего $p_i \vee \bar{p}_i$ (для любого i). Это находит проявление в том, что в каждое описание состояния включается каждое из $p_1, \ldots, p_n$ (с отрицанием или без отрицания). Рассуждение здесь — например, для двух высказываний p_1 и p_2, таково: поскольку верно $p_1 \vee \bar{p}_2$ и $p_2 \vee \bar{p}_2$, то возможны ситуации p_1p_2 или $p_1\bar{p}_2$ или $\bar{p}_1p_2$ или $\bar{p}_1\bar{p}_2$.

В этом рассуждении использован неявно также закон дистрибутивности: $A(B \vee C)$ эквивалентно $AB \vee AC$. Перечень законов, которые принимаются в самом определении описаний состояний, может быть продолжен (например, не включается одно и то же высказывание дважды без отрицания или с отрицанием согласно закону идемпотентности для конъюнкции: $\tilde{p}_i\tilde{p}_i$ эквивалентно $\tilde{p}_i$). По существу (если учесть еще то, как мы оперируем с самими описаниями состояний) включается вся логика высказываний. Но ясно, что если законы логики приняты уже заранее, то окажется, что они не содержат никакой информации. (Здесь та же ситуация, что в разобранном выше случае: $i(A/A?/\Gamma)$, когда Γ включает A, равно O). Следствием этого оказывается и то, что противоречивое высказывание является сосредоточием всей возможной информации. Таковы причины тех особенностей, которые характерны для экстенсионального понятия информации.

Итак, нужно изменить понятие описания состояния таким образом, чтобы при его формулировке не принимать заранее какой-либо информации. Оказывается, достаточно отказаться от предположения *a priori*, что в действительности действуют законы противоречия и исключенного третьего. Собственно, только эти законы, их конъюнкции и выводимые из них представляют собой утверждения о действительности, поскольку являются формулами нашего языка. Остальные выражают отношения между формулами. В таком случае в качестве описаний состояний — при наличии элементарных высказываний $p_1, \ldots, p_n$ надо брать $p_1, p_2, \ldots, p_n, \bar{p}_1\bar{p}_2, \ldots, \bar{p}_n, p_1p_2, \ldots, p_1p_n, p_1\bar{p}_1, \ldots, p_1\bar{p}_n, \ldots$ и т. д. — все возможные сочетания из множества $\{p_1, \ldots, p_n, \bar{p}_1, \ldots, \bar{p}_n\}$ по одному, по два, ..., по 2n (объединяя элементы этих сочетаний конъюнктивно в любом порядке). Множество описаний состояний и есть M.

Так, при наличии двух элементарных высказываний p_1 и p_2

$$M = \{p_1, p_2, \bar{p}_1, \bar{p}_2, p_1 p_2, p_1 \bar{p}_1, p_1 \bar{p}_2, p_2 p_1, p_2 \bar{p}_2, \bar{p}_1 \bar{p}_2, p_1 p_2 \bar{p}_1, p_1 p_2 \bar{p}_2, p_1 \bar{p}_1 \bar{p}_2, p_2 \bar{p}_1 \bar{p}_2, p_1 p_2 \bar{p}_1 \bar{p}_2\}.$$

Для определения M_A (множества истинности A при данном M) введем понятия «описание состояния, которое является условием истинности A» (состояние, в котором A может быть истинным).

Описание состояния α назовем условием истинности высказывания A, если A может быть истинным в этом описании. «A может быть истинным во взятом описании α» означает, что для A можно получить значение «истина» обычным способом вычисления значений в истинностных таблицах (и при обычном для классической логики истолковании связок) при выполнении следующих условий. Переменной p_i приписывается значение «и» («истина»), если она входит в α без отрицания или «л» («ложь»), если она входит с отрицанием; если p_i входит в α без отрицания и с отрицанием, то получает сразу два значения (в одной строке таблицы) «и» и «л»; в этом случае каждому вхождению p_i в A (при вычислении ее значения) может быть приписано любое из этих значений (и в результате A может получить значения «и» и «л»; так, например, формула $p \vee \bar{p}$ имеет оба эти значения в описании состояния $p\bar{p}$; приписав первому и второму вхождению значение «и» или «л», получим значение всей формулы «и»; если же первому вхождению p припишем «л», а второму «и», получим для всей формулы «л». Подобный способ действия вполне правомерен. Мы не принимаем заранее закон противоречия. И если нам дано противоречивое указание (p_i имеет одновременно значения «и» и «л»), мы вправе использовать в любом случае каждый из членов противоречия. Переменные, не входящие во взятое описание, не получают никаких значений, и формула A поэтому может оказаться не детермйнированной в данном описании, т. е. не получить ни значения «и», ни «л».

Случай, когда A не детерминировано во взятом описании состояния α, нетрудно выявить исходя из указанного табличного способа определения значений. Однако мы можем определить необходимое нам понятие условия истинности A следующим рекурсивным способом. Введя для выражений «A может быть истинным в α» и «A может быть ложным в α» обозначения соответственно «$\mathrm{T}A(\alpha)$» и «$\mathrm{F}A(\alpha)$»; «$p \in \alpha$» и «$\bar{p} \in \alpha$», где p элементарное высказывание, будут означать «p содержится в α» и «$\bar{p}$ содержится в α»; $\Leftrightarrow$ используем как сокращение для «если и только если».

Для элементарных высказываний p_i имеем:

$\mathrm{T}p_i(\alpha) \Leftrightarrow p_i \in \alpha$, $\mathrm{F}p_i(\alpha) \Leftrightarrow \bar{p}_i \in \alpha$.

Для любых высказываний A и B:

$\mathrm{T}(A \wedge B)(\alpha) \Leftrightarrow \mathrm{T}A(\alpha)$ и $\mathrm{T}B(\alpha)$; $\mathrm{F}(A \wedge B)(\alpha) \Leftrightarrow \mathrm{F}A(\alpha)$ или $\mathrm{F}B(\alpha)$,

$\mathrm{T}(A \vee B)(\alpha) \Leftrightarrow \mathrm{T}A(\alpha)$ или $\mathrm{T}B(\alpha)$; $\mathrm{F}(A \vee B)(\alpha) \Leftrightarrow \mathrm{F}A(\alpha)$ и $\mathrm{F}B(\alpha)$.

$\mathrm{T}\bar{A}(\alpha) \Leftrightarrow \mathrm{F}A(\alpha)$; $\mathrm{F}\bar{A}(\alpha) \Leftrightarrow \mathrm{T}A(\alpha)$.

Множеством истинности M_A высказывания A (допустимых для A описаний состояний) назовем множество условий истинности A (множество α, таких, что $A(\alpha)$).

Заметим, что M_A и $M_{\bar{A}}$ имеют всегда непустое пересечение. Это значит, что для любого высказывания A существуют описания состояния, в которых A может быть и истинным и ложным. Это — противоречивые описания (содержащие какое-то p_i вместе с его отрицанием). Как и прежде (когда мы имели дело с экстенсиональной информацией), отношение «$I(B)$ является частью $I(A)$» определяется как $M_A \subseteq M_B$; это, в свою очередь, мы трактуем как *отношение следования* $A \vDash B$ *между* A *и* B, *но в интенсиональном смысле*.

Логически истинными (законами логики) среди высказываний нашего языка мы будем считать по-прежнему такие высказывания, которые истинны во всех классических описаниях состояний.

В число законов попадают и закон противоречия и закон исключенного третьего. В алгебре логики есть, как известно, и законы типа $A=B$ (например, $AA=A$, $A(B\vee\bar{B})=A$). Они выражают отношения эквивалентности между высказываниями. Иначе — это равенство (совпадение) высказываний по информации ($A=B$ есть то же, что $J(A)=J(B)$; для классической логики, где мы имеем дело с экстенсиональной информацией, это есть то же, что $i(A)=i(B)$). *Теперь, имея в виду интенсиональную информацию*, мы должны считать высказывания A и B (интенсионально) эквивалентными, если и только если $J(A)=J(B)$. Из множества законов классической алгебры логики выпадут $A(B\vee\bar{B})=A$, $A\vee B\bar{B}=A$ и $(A\vee C)\ (B\vee\bar{C})=(A\vee C)\ (B\vee C)\ (A\vee B)$ и другие, зависящие от первых двух из указанных.

Сохраняются все законы алгебры логики, используемые в известных алгоритмах приведения высказываний к дизъюнктивной и конъюнктивной нормальным формам (законы де-Моргана, двойного отрицания $\bar{\bar{A}}=A$ оба закона дистрибутивности). Сохраняются законы поглощения $A(A\vee B)=A$ и $A\vee AB=A$, законы идемпотентности $AA=A$ и $A\vee A=A$, коммутативности $AB=BA$, $A\vee B=B\vee A$.

Обратим внимание на то, что M_A — это множество всех членов ДНФ высказывания A и возможных их расширений (расширением некоторой конъюнкции является конъюнкция, содержащая все члены данной); очевидно, что все расширения членов ДНФ некоторого высказывания можно дизъюнктивно присоединить к *первоначально полученной ДНФ на основе закона поглощения* $A=A\vee AB$). Это обстоятельство вместе с возможностью приведения высказываний к ДНФ облегчает решение вопросов об отношениях высказываний по информации.

Пример. Мы хотим решить, является ли $J(q)$ частью $J(p(\bar{p}\vee q))$ ДНФ $p(\bar{p}\vee q)$ есть $p\bar{p}\vee pq$. ДНФ q есть само q. Соответствующие множества истинности: $\{p\bar{p}$, pq и возможные расширения, напри-

мер $p\bar{p}q$, $pq\bar{p}$...} и {q и возможные расширения— pq, $\bar{p}q$ и т. п.}. Как видим, первое не является частью второго и, значит, информация первого высказывания не является частью информации второго.

Литература

Бриллюэн Л. Наука и теория информации. М., 1960.
Бриллюэн Л. Научная неопределенность и информация. М., 1966.
Войшвилло Е. К. Попытка семантической интерпретации статистических понятий информации и энтропии.— В сб. Кибернетику — на службу коммунизму, т. III. М., 1966.
Гришкин И. И. Понятие информации. М., 1973.
Тондл Л. К проблемам семантической информации.— «Kybernetika», 1972, vol. 8, N 3. Akademia, Praha.
Урсул А. Д. Природа информации. М., 1968.
Уэлз Р. Мера субъективной информации.— В сб.: Новое в лингвистике, вып. 4. М., 1965.
Харкевич А. А. О ценности информации.— В сб.: Проблемы кибернетики, вып. 4. М., 1960.
Эшби У. Р. Введение в кибернетику. М., 1959.
Bar-Hillel J. and Carnap R. Semantic information.— «The Brit. J. Physiol. of Sci.», vol. 4, N 14, 1953.
Hintikka J. On Semantic Information.— In: Physics, Logic and History. Plenum Press, 1970.
Hintikka J. Logic, Language-games and Information, Oxford, 1973.
Kemeny J. G. A Logical Measure Function.— «Jour. of Symb. Log.», v. 18, 1953.
Kemeny J. G. A new Approach to Semantics.— «Jour. of Symb. Log», v. 21, N 1; 2, 1956.

ЯЗЫК МАШИНЫ

(Сопоставительное рассмотрение организованных систем)

Ветров А. А.

Вопрос о языке машины может трактоваться по-разному — в зависимости от целей, какие ставит перед собой исследователь. Чаще всего в понятие «язык машины» включается круг проблем, связанных с передачей информации от человека к машине, с программированием и т. п. [см.: Пуайен Жак и Пуайен Жанна, 1963; Шилейко А. В., 1969; Ефремов Г. О., 1967]. При этом обычно основное внимание уделяется техническому аспекту проблемы. Методологические же вопросы освещаются попутно, менее систематично. В настоящей работе мы делаем главный акцент именно на методологических вопросах, касаясь технической стороны лишь в той мере, в какой это необходимо для решения основной задачи.

Наш подход к проблеме языка машин может быть охарактеризован как кибернетико-семиотический. Мы имеем в виду при этом не формальные методы исследования, а концептуальную сторону кибернетики и семиотики. Кибернетика и семиотика являются весьма общими науками: одна — наукой об управлении в сложных

динамических системах, другая — о знаках и языках. Диапазон изучаемых ими объектов чрезвычайно широк. Закономерности, которые они устанавливают, охватывают и мир растений, и мир животных, и мир человека, и мир автоматов.

Первая особенность кибернетико-семиотического подхода (он применяется в настоящей работе) заключается в том, что изучаемое явление рассматривается со стороны признаков, общих ему с другими явлениями, как бы последние далеко от него ни отстояли [1]. Ниже будет показано, что основу такого сближения явлений, на первый взгляд совершенно разнородных, составляет одинаковая роль их в информационно-знаковых процессах.

Однако при кибернетико-семиотическом подходе нельзя, по-видимому, ограничиться констатацией общего — необходимо учесть специфику его проявления в отдельных конкретных случаях. Иными словами, анализ функционального тождества (одинаковая роль в информационно-знаковых процессах) должен быть дополнен рассмотрением различий, обусловленных различием субстратов. Только при этом условии, определяющем вторую особенность кибернетико-семиотического подхода, изучаемое явление предстанет перед нами в своей конкретной полноте.

И выделение функционально общего, и учет субстратных различий предполагает сопоставительное рассмотрение организованных кибернетических систем разных типов и уровней организованности. В частности, невозможно разобраться в сущности языка машины, не сопоставив его с языком человека (и «языком» животных). Именно в ходе такого сопоставления становится ясной и функциональная общность этих языков, и их различие, определяемое различием их субстратов и организованности.

Рассмотрим подробнее информационно-знаковые (конкретнее — информационно-языковые) процессы у человека и у животных [2].

Язык человека и язык животных

Рассмотрим один из простейших примеров языкового информационного процесса. Допустим, индивидуум *B* слышит, как другой индивидуум *A* рассказывает о столкновении двух автомобилей, свидетелем которого он был на днях. «Машины,— говорит он,— шли навстречу друг другу с большой скоростью. Вдруг на мостовую выбежал ребенок...» и т. д.

Отдельные слова, встречающиеся в рассказе, являются единицами языка. Каждая языковая единица обладает двумя сторона-

[1] Ср.: Куффиньяль Л. [1968, с. 133]: «Универсальность кибернетической мысли проявляется в аналогиях, сопоставляющих самым неожиданным образом существа самых различных категорий».

[2] О понятиях знака, языкового знака и языка см. в книге Встрова А. А. [1968]. Используя в настоящей статье различные семиотические термины, мы всюду остаемся в рамках того каркаса понятий, который был описан нами в указанной книге.

ми: физической материей (звучание) и смыслом (смысловым значением, смысловым содержанием или просто содержанием).

Если бы *B* не знал языка, на котором ведется рассказ, для него услышанное было бы просто некоторым физическим явлением. При знании языка, которое прежде всего обнаруживается в знании смысловых значений, свойственных языковым единицам, физический процесс становится информационным. В этом случае *B* не просто воспринимает последовательность звуков. Они являются сигналами, несущими определенную информацию [3].

Без смысловых значений нет языкового информационного процесса. Что же представляет собою смысл?

Когда *B* владеет языком, к которому прибегает его собеседник, слышимые им слова пробуждают в его сознании умственные (чувственные и (или) мысленные) образы, связавшиеся со словами в процессе их усвоения. Образы как раз и воплощают смысловые значения слов-сигналов.

Если не считать привычных, или автоматизированных, действий (выполняемых, например, при подаче военных команд), то семантическая, смысловая сторона языковых информационных процессов человека всегда предполагает умственные образы. Следовательно, семантика языкового информационного процесса реализуется у человека через психические явления (переживания в широком смысле, идет ли речь о переживании образов восприятия, образов представления, эмоций и т. д.) [4].

Достаточно ограничиться при изучении языка миром человека (а это как раз и делает в большинстве случаев лингвистика), чтобы на этой основе выросла определенная философия языка. Основным ее положением является мысль о том, будто язык человека есть единственно возможный тип языка, поскольку языки могут существовать лишь при наличии психических процессов, переживаний, сознания.

Первый удар по этой философии языка был нанесен семиотикой. Семиотика как общая наука о знаках и языках анализирует любые типы коммуникативных процессов, независимо от того, осуществляются ли они людьми, животными или другими организованными системами. Исследуя языки животных, семиотика столкнулась с тем фактом, что коммуникативные процессы животных и человека могут быть рассмотрены под углом их сходства в определенных чертах, имеющих существенное значение. Этот вывод был подтвержден в дальнейшем кибернетикой при изучении ею информационных процессов в животном мире и в человеческом обществе.

[3] Наше использование понятий «сигнал» и «информация» в основном совпадает с терминологической практикой Полетаева И. А. [1958, с. 5, 32—33, 37—38, 98—99 и особенно 39 и 315].

[4] Характеристику переживаний в широком смысле читатель найдет в книге Шороховой Е. В. [1961, с. 257—259].

Рассмотрим такой элементарный пример. Пчела, возвращающаяся с богатого взятка в улей, совершает танец определенного рода. Этот танец является сигналом, сообщающим пчелам, которые находятся в улье, информацию не только о направлении, в каком следует искать взяток, но и о его расстоянии до улья [см.: Фриш К., 1966].

Перед нами типичный информационный процесс. Сравнивая его с описанным выше информационным процессом у человека, нетрудно с первого же взгляда обнаружить различия. Одни из них существенны, другие не представляют интереса. (К числу последних относятся, например, различия в материальном носителе сигнала: носитель сигнала-слова составляют колебания воздуха, воспринимаемые слухом, в случае танца пчел — их телодвижения, воспринимаемые зрением).

Среди существенных различий наиболее важным является то, которое связано с характером процессов, воплощающих содержание сигналов [5].

В рассмотренном примере языкового информационного процесса у человека смысловое значение предстало в форме психических образов, пробужденных в сознании слушателя воспринятыми словами. Каждое из них в отдельности и все вместе взятые нарисовали в сознании *Б* определенную умственную картину. *Б* понял слова, произнесенные *А*, именно потому, что они породили определенные психические процессы.

На наш взгляд, ни о каком внутреннем мире переживаний не может быть и речи при анализе информационного процесса у пчел. Означает ли это, что пчела вообще не «понимает» танца, совершаемого ее соплеменницей, что этот танец лишен для нее всякого содержания? Если бы дело обстояло так, то мы не имели бы права говорить о языке пчел, ибо языковые единицы характеризуются двумя обязательными сторонами: физической материей и содержанием. В этом случае правы были бы те, кто ограничивает сферу языка областью человеческой психики, человеческого сознания.

Однако в действительности дело обстоит совсем не так. Понимание этого факта стало возможным благодаря тому, что семиотика и кибернетика открыли перед нами возможности более широкого, функционального подхода к языковым явлениям.

У пчелы, воспринимающей танец своим органом зрения, конечно, не пробуждаются психические образы. Но тем не менее восприятие танца имеет своим результатом совершение целой серии целесообразных действий: пчела выходит из улья, подни-

[5] Мы не останавливаемся здесь на других существенных различиях между языком человека и языком животных. По этому вопросу есть ряд превосходных работ. Назовем хотя бы написанную Ч. Хоккетом первую главу книги «Universals of Language», Cambridge, Mass., 1963, а также его статью «Animal «Languages» and Human Language».— В сб.: The Evolution of Man's Capacity for Culture. Detroit, 1959.

мается в воздух и летит в направлении богатого взятка. Почему это возможно? Очевидно, потому, что восприятие танца пробуждает или активизирует определенные физиологические процессы, связавшиеся с этим восприятием в прошлом опыте (причем не в индивидуальном опыте пчелы, а в опыте всего рода).

Нервнофизиологические следы, сохранившиеся в памяти пчелы, отличны от умственных образов человека, однако по выполняемой ими роли они эквивалентны умственным образам человека. И те, и другие делают возможным целесообразный ответ на поступивший извне сигнал, опосредствуют воздействие сигнала на организм. Благодаря пробуждению (актуализации) умственного образа или нервнофизиологического следа сигналы приобретают способность управлять поведением самоуправляемых систем, т. е. наделяются определенным содержанием.

Нервнофизиологические следы выполняют в мире животных ту же функцию, что и идеальные образы в мире человека; они тоже обладают смыслами, но смыслами функциональными, т. е. смыслами, обусловленными ролью следов в поведении животных.

Информационные процессы животных не лишены, следовательно, семантики. Только семантика в данном случае носит особый характер по сравнению с семантикой человеческих информационных процессов. Это — функциональная семантика.

Так как сигналы, производимые одной особью и воспринимаемые другой, обладают содержанием, мы вправе говорить о языке животных. Нужно только при этом иметь в виду, что этот язык носит особый функциональный характер. Он не тождествен языку человека, т. е. не является языком в психологическом, антропологическом значении данного слова. Но это — язык с семиотико-кибернетической, функциональной точки зрения: он выполняет ту же функцию, что и язык человека, а именно, он служит орудием общения организованной системы с другой.

Расширительное толкование понятий «смысл», «язык» и т. п., достигаемое при функциональном подходе к изучению животных, явилось одним из важных результатов семиотико-кибернетических исследований. Однако это — не предел обобщений, к которым приходят семиотика и кибернетика. Выводы, получаемые посредством семиотико-кибернетического метода, приобретают, по-видимому, еще большую общность, когда мы обращаемся к кибернетическим машинам.

Сходство и различие человеческого и машинного языков

Переходя к рассмотрению языка кибернетических машин, прежде всего отметим, что мы ограничиваем себя цифровыми вычислительными машинами, не касаясь аналоговых машин, в которых числа изображаются посредством постоянных или переменных физических величин (сопротивлений, емкостей, напряжений

и т. д.). Такое ограничение является обычным при анализе языка машин [см.: Пуайен, 1963].

Рассмотрение языка автоматов мы начнем с освещения некоторых технических аспектов проблемы, без чего было бы трудно получить более или менее полное представление о характере общения человека и машины.

Поскольку электрические процессы (в отличие от механических) протекают с большей скоростью, основным типом цифровых вычислительных машин стали электронные машины. Внутри электронных машин информация существует в форме электрических импульсов. Из-за простоты были выбраны схемы, характеризующиеся двумя состояниями — наличием или отсутствием электрического импульса.

Чтобы общение человека с автоматом было успешным, мы должны уметь формировать в машине электрические импульсы и управлять ими. Для этого нам нужно располагать языком, «понятным» автомату. Так как внутренние машинные процессы могут находиться в одном из двух состояний (они или налицо или отсутствуют), в этом языке должны быть предусмотрены знаки двоякого рода: с одной стороны, знаки, вызывающие возникновение электрических импульсов, а с другой, знаки, которым соответствует отсутствие электрического импульса. В качестве таких знаков используются цифры «1» и «0». Машинный язык, т. е. язык, непосредственно доступный машине, как раз и состоит из последовательностей, образованных этими двумя цифрами.

Заметим кстати, что когда мы говорим о языке, *непосредственно* доступном машине, нас не надо понимать так, будто машина имеет дело непосредственно с этим языком. Чтобы ввести в машину информацию, зафиксированную в машинном языке, необходимо перенести ее на какой-нибудь материальный носитель: на перфокарту, перфоленту, магнитную ленту и т. д. Именно с такими материальными носителями и имеет непосредственный контакт машина. Когда глазок фотоэлемента встречается с перфорацией на перфокарте, возникает электрический импульс. Непосредственность машинного языка противопоставляется в данном случае характеру других языков, используемых при программировании.

Итак, машинный язык включает в свой состав последовательности, образуемые из двух цифр,— единицы и нуля. Охарактеризуем эти последовательности несколько подробнее.

Их можно разделить на две группы: слова и предложения. В свою очередь слова подразделяются на существительные и глаголы. Существительные обозначают те предметы (величины), над которыми совершает действия цифровая машина, а глаголы — сами совершаемые действия.

Величины, над которыми совершаются действия, хранятся в запоминающем устройстве машины, разделенном на отдельные ячейки. Каждая ячейка обладает строго определенным порядковым номером (он называется также «адресом»).

Существительное есть имя величины, находящейся (в форме электрических импульсов) в определенной ячейке запоминающего устройства. Оно образуется так: имя величины есть номер той ячейки, в которой она хранится. Допустим, например, что запоминающее устройство машины состоит из 16.384 ячеек, нумерация которых начинается с 00000 и кончается 16383. Тогда 10010010100 101 является существительным — именем величины, хранящейся в *ячейке № 09381* [6].

Рассмотрим теперь глаголы машинного языка.

Машина выполняет действия четырех основных типов:

1) *арифметические и логические операции*;
2) операции управления;
3) операции передачи;
4) *служебные операции*.

Можно условиться, что глаголы, обозначающие операции первой группы, будут начинаться с 00, глаголы второй группы с 01, глаголы третьей группы с 10 и т. д. Тогда, *например*, *глагол* 00001 имеет смысл «сложить», причем последние три цифры указывают порядковый номер операции в пределах данной группы, глагол 10001 означает «передать некоторое содержание из запоминающего устройства в центральный процессор (счетчик)» и т. п.

Характеристика предложений машинного языка, т. е. его синтаксис чрезвычайно проста:

1) предложение может состоять только из двух последовательностей — одного существительного и одного глагола;

2) глагол всегда ставится на первое место, а существительное на второе;

3) каждое предложение записывается с новой строки.

Вот типичный пример машинного предложения:

> 0000100000010111101, что означает: «к содержимому центрального процессора прибавить содержимое ячейки № 189 запоминающего устройства; сумму оставить в центральном процессоре».

Предложения машинного языка называются командами. Совокупности электрических импульсов, соответствующие командам, хранятся в ячейках запоминающего устройства, так же, как и упоминавшиеся выше совокупности электрических импульсов, обозначаемые существительными. Номер ячейки, где хранится команда (точнее, совокупность электрических импульсов), получил название имени команды, или «метки». «Метка» — специфическая категория машинного языка. Она всегда ставится левее команды и отделяется от последней двоеточием. Команды выполняются машиной в порядке своих адресов, т. е. согласно меткам.

Поскольку программист, составляя на машинном языке текст (программу), указывает не только команду, но и ее имя (метку),

[6] О принципе образования названий перенумерованных предметов из двух знаков: единицы и нуля см.: Шилейко А. В. [1969, с. 5—7].

его запись приобретает следующий вид (мы выписываем лишь одну из строк):

00000000110100 : 1010000000001100100.

Нетрудно видеть, что такой язык крайне неудобен для человека. Чтобы записать на нем программу, требуется специальная подготовка. Инженер, который хочет решить какую-нибудь задачу с помощью вычислительной машины, не может обратиться непосредственно к автомату. Он вынужден передать свои материалы программисту, который и создает программу, вводимую в машину. Следовательно, общение потребителя с машиной осуществляется с помощью посредника, что, конечно, ведет к неудобствам.

Мы уже не говорим о неудобствах, связанных с тем, что составление программы на машинном языке требует много времени, а также сопряжено с возможностью частого допущения ошибок. Отладка такой программы (т. е. работа, состоящая в обнаружении и исправлении ошибок) опять-таки связана с большой затратой времени.

Одним словом, для человека машинный язык плох. С другой стороны, он вполне устраивает машину: она легко усваивает информацию, сообщаемую им, когда эта информация перенесена на перфокарты, перфоленты и т. п.

Как же примирить интересы человека и машины? Чтобы достичь желаемой цели, обычно поступают так: программа записывается на искусственном языке, но не на машинном, а на более простом языке, занимающем промежуточное положение между естественным языком человека и машинным языком. Поскольку машине доступна лишь информация, записанная на машинном языке, предложения промежуточного языка необходимо перевести на машинный язык. Задача такого перевода возлагается на саму машину, снабжаемую в этих целях особой программой. Так как перевод с промежуточного языка на машинный язык осуществляется самими автоматами, промежуточные языки называются языками автоматического программирования.

Приведем простой пример, разъясняющий основную идею такого программирования. Предположим, что мы создали язык, алфавит которого включает 32 заглавные буквы русского языка и 10 арабских цифр. В этом языке операция сложения может обозначаться одной буквой, скажем, «С»; существительными по-прежнему являются номера ячеек запоминающего устройства, но записываемые в десятичной системе счисления (например, 00052, 00055) и т. д. Программа, составленная на новом языке, значительно проще программ, вырабатываемых на основе машинного языка. Выше мы приводили одну из строк программы, записанной на машинном языке. Теперь она будет выглядеть так:

00052 : П400100,

где П4 означает: «передать содержание устройства ввода в запоминающее устройство».

Такой язык значительно удобнее для человека: программы становятся короче, их можно составить, не зная машинного языка. Но для машины новый язык менее удобен. Сам по себе он ей недоступен. Поэтому машина должна предварительно осуществить перевод с нового языка на машинный язык. А это приводит к ее усложнению: в устройство ввода встраивается специальный механизм, который преобразует предложения нового языка (00052 : : П400100, 00049 : П400097 и т. д.) в группу машинных слогов; кроме того, в машину должна быть введена особая программа, на основе которой производится перевод информации, выраженной машинными слогами, на машинный язык.

Языки автоматического программирования получили широкое распространение. Они освобождают человека от выполнения чрезвычайно кропотливой работы, требующей больших затрат времени и часто ведущей к ошибкам, которые не замечаются составителем программы. Ради этого можно примириться с некоторым усложнением вычислительной машины.

*Из языков автоматического программирования наибольшей из*вестностью пользуются ФОРТРАН (от FORmula TRANslation, то есть язык для вычисления формул), КОБОЛ (Common Business Orienteg Language), ориентированный на решение экономических задач, и универсальный язык АЛГОЛ (ALGOrithmie Language), предназначенный для решения научных задач широкого профиля [7].

До сих пор, рассматривая общение человека с машиной, мы выясняли, каким образом человек сообщает информацию машине, то есть шли в направлении от человека к машине. Существует и обратное движение — от машины к человеку. В этом случае речь идет не о получении машинной информации, а о выдаче ее человеку. Однако в принципе процесс выдачи информации не отличается от процесса ее получения: изменяется лишь последовательность процедур, о которых говорилось выше. Поэтому процесс выдачи машинной информации человеку мы специально не анализируем.

Итак, общение человека и машины осуществляется или непосредственно с помощью машинного языка или при посредстве специальных языков — языков автоматического программирования. Однако и в последнем случае машина имеет дело непосредственно с машинным языком, на который она переводит программу, составленную на специальном языке. Следовательно, в конечном счете человек всегда общается с машиной при помощи машинного

[7] *Мы не будем описывать здесь структуру этих языков, отсылая желающих* познакомиться с нею к книге Шилейко А. В. [1969, главы IV—VI. См. также: Ефимов М. Н., 1965; Универсальный язык программирования PL/I. М., 1968; Арнаудов Д. Д., 1969].

Вопрос о возможности общения человека с машиной непосредственно на обычном человеческом языке прекрасно освещен в предисловии Д. Ю. Панова к книге И. К. Бельской [1969].

языка. Этот язык мы и будем иметь в виду, говоря ниже о языке машин.

Таков технический аспект рассматриваемой нами проблемы. Займемся теперь методологическими вопросами, связанными с языком автоматов.

Иногда можно встретить утверждения, отрицающие языковые процессы у электронных вычислительных машин. Например, Э. Кольман пишет: «О машине, конечно, нельзя сказать, что она «понимает» в том смысле, как понимают люди и даже животные; *у нее, разумеется, нет и языка*» [1956, стр. 6].

Так ли это? Если данное утверждение может представиться истинным, то только при первом подходе к проблеме, когда принимаются во внимание факты, бросающиеся в глаза, и остаются незамеченными существенные связи.

В самом деле, что прежде всего в этом случае обращает на себя внимание? Отсутствие в машине психических явлений (переживаний в широком смысле). А так как мы привыкли связывать язык с психикой, сознанием, то вывод о невозможности языка у машин кажется чем-то само собой разумеющимся.

Однако семиотика и кибернетика выявили возможность функционального подхода к языку (и мышлению), что значительно расширило наш умственный горизонт и положило конец своего рода антропоцентризму, который господствовал в этой области до сих пор. Стало ясно, что человек не есть какое-то исключительное существо, занимающее особое положение во Вселенной. Это — одна из высокоорганизованных самоуправляемых систем, отличающаяся от других большей сложностью и степенью организованности; и язык человека — лишь одна из форм (а далеко не единственная форма) существования языка [8].

Последовательности единиц и нулей, подаваемые на вход машины, конечно, не являются языком в психологическом, антропологическом смысле. Но по функции, которую они выполняют, эти последовательности представляют собой язык. Ситуация, в которой человек, комбинируя определенным образом единицы и нули, сообщает информацию машине, совершенно аналогична ситуации, когда один человек сообщает информацию другому человеку, используя последовательности звуков или букв; как последовательности звуков, так и последовательности цифр служат орудием общения, материальным источником информации. В обоих случаях перед нами языковый информационный процесс.

Как мы уже отмечали, языковые информационные процессы характеризуются наличием двух сторон: материального носителя информации (сигнала) и его содержания. В этом отношении не является исключением и языковый информационный процесс, в ка-

[8] Подрыв антропоцентризма в области учения о языке (и мышлении) в какой-то мере сравним с переворотом, совершенным Коперником Н. [см.: Штейнбух К., 1967, с. 424 и 430].

честве членов которого выступают человек и машина. Этот информационный процесс тоже имеет свою содержательную сторону («семантику»). Машина отвечает действием лишь на те последовательности цифр, которые обладают для нее определенным содержательным «смыслом». Бессмысленные сочетания единиц и нулей ведут к приостановке работы машины.

В чем же воплощается машинный «смысл»? Очевидно, в тех электрических процессах, которые пробуждаются командой (предварительно введенной в память машины и существующей там в форме электрических импульсов).

Ясно, что понятие смысла употребляется здесь не в прямом, а в функциональном значении. Иначе говоря, электрические процессы обладают «смыслами» потому, что они выполняют ту же роль, ту же функцию, что и умственные образы в языковых информационных процессах людей (или нервнофизиологические структуры в языковых информационных процессах животных). Когда человек слышит слова знакомого ему языка, они находят отклик в его памяти, пробуждают умственные образы, связавшиеся с ними в процессе обучения. Посредством умственных образов понимается смысл слов. Когда машина выполняет некоторую команду, в ней возникают определенные электрические процессы, связь которых с командой предусмотрена программистом. Не будь этой связи, машина не выполнила бы соответствующей команды, и предложение «машинного языка» осталось бы «бессмысленным». Пробуждение командой запланированных программистом электрических процессов и есть своеобразное «осмысление» предложения.

Следовательно, машина тоже как бы «понимает», ее языковые *единицы тоже обладают содержанием, «смыслом». Необходимо* только учитывать, что «понимание» и «смысл» носят здесь необычный характер: это — функциональное «понимание», функциональный «смысл», обусловленный той функцией, которую они выполняют в коммуникативном процессе.

В любом языковом информационном процессе (процесс общения организованных систем) налицо сигнал, несущий информацию. Сигнал несет определенное содержание. В зависимости от уровня языкового информационного процесса форма существования содержания (смысла) меняется. На уровне человека смысловое содержание воплощается в образах (в переживаниях в широком значении слова), на уровне животного — в нервнофизиологических структурах, на уровне машины — в электрических процессах. Имея в виду два последних случая, мы говорим о функциональных смыслах.

Связь сигнала с содержанием устанавливается до того, как сигнал воздействует на организованную систему и пробуждает (или активизирует) в ней соответствующее содержание. Если бы связь сигнала и содержания не была установлена предварительно, иначе говоря, если бы система, на которую воздействует сигнал, не обладала каким-то минимумом предварительно накопленной

информации, сигнал не нашел бы в ней отклика, не имел бы для нее содержания. Именно на основе уже имеющейся информации делается возможным «понимание» организованной системой (независимо от того, является ли она человеком, животным или машиной) сигнала, управляющего ее поведением [9]. Языковые и вообще *знаковые информационные процессы существуют только при* наличии организованных систем — систем, накопивших «предварительную» информацию.

Процесс формирования связи между сигналом и содержанием не всегда одинаков: он обусловлен особенностями организованной системы. Если речь идет о связи сигнала (слова или предложения естественного языка) и умственного образа, то она складывается во время обучения человека родной речи. Связь сигнала (например, телодвижений пчелы) и нервнофизиологической структуры — продукт длительного приспособления к окружающей среде того или иного вида животных. Наконец, связь сигнала (слова или предложения машинного языка) и электрических процессов — результат работы программиста.

Итак, машинный язык (язык, на котором человек общается с машиной или машины «общаются» друг с другом) сходен с языком людей по функции, выполняемой им в коммуникативном процессе. Это — язык в функциональном смысле, язык с семиотико-кибернетической точки зрения.

Однако сходство машинного языка с человеческим языком не ограничивается его ролью в процессе коммуникации. Он сходен с языком человека и по своей структуре.

Один из видных лингвистов современности Гарвин П. [1963], а также Москович В. А. [1971, с. 8—9] полагают, что для языка характерны три особенности: два уровня построения, два уровня организации и более чем один уровень интеграции. Все эти особенности представлены в естественном языке. В нем налицо смыслоразличительный и смысловой уровни построения (уровень фонем и уровень морфем); далее, в нем не менее двух уровней интеграции (получающихся от объединения фонем и морфем в единицы более высокого порядка), и, наконец, он обладает двумя уровнями организации (парадигматический уровень, или уровень выбора, и синтагматический уровень, или уровень сочетаний) [10].

А как обстоит дело с машинным языком? В этом языке мы также находим два уровня построения. Цифры «0» и «1» сами по

[9] *Примечание редактора.* Содержание, или смысловое значение, сигнала в машине, его «понимание» выступает по отношению к человеку, а не для машины как таковой. Все современные кибернетические устройства, автоматы суть не системы типа «машина — среда», а системы типа «человек — машина — среда».

[10] Два уровня организации П. Гарвина есть то, что известный лингвист Якобсон Р. [1956, p. 60—62, 76—77, 80—82] называет двойственным характером языка или основной дихотомией языка Jakobson R., 1957].

себе не имеют смысла. Они, подобно фонемам естественного языка человека, служат смыслоразличительными единицами, из которых образуются смысловые единицы, соответствующие морфемам (например, сочетание двух нулей обозначает арифметическую или логическую операцию, сочетание единицы и нуля — операцию передачи и т. п.

В свою очередь смысловые единицы низшего порядка объединяются в единицы более высокого порядка (00001 — «сложить», 0000100000010111101 — «содержимое счетчика сложить с содержимым ячейки № 189» и т. п.). В последнем примере смысловая единица машинного языка (глагол 00001) входит в смысловую единицу более высокого порядка — в предложение. Следовательно, в машинном языке также не менее двух уровней интеграции (00, 00001, 0000100000010111101).

Наконец, машинному языку свойственны и два уровня организации. Когда программист строит предложение машинного языка, то он стоит перед выбором — начать ли предложение глаголом, выражающим операцию сложения, или глаголом, обозначающим вычитание и т. д. (парадигматический уровень). Начав предложение с определенного глагола, программист затем сочетает его с другими выражениями машинного языка, руководствуясь правилами грамматики (синтагматический уровень).

Таким образом, машинный язык имеет в сущности ту же структуру, что и естественный язык, на котором общаются люди. Мы не принимаем здесь во внимание «метки» — специфического элемента машинного языка. Метка, присоединяемая к команде, оставляет без изменения ее структуру, которая как раз и сходна со структурой предложений естественного языка. И это неудивительно. Создавая машинный язык, человек имитирует структуру своего языка, которая во многих отношениях (в частности, с точки зрения экономичности средств, используемых для выражения суждений), действительно, достойна быть предметом подражания.

Сходство машинного языка с повседневным языком человека по структуре отличает машинный язык от языка животных. Структура последнего совершенно иная. (Исключением, быть может, является язык пчел). «Предложения» языка животных не расчленимы на части: смыслоразличительные — фонемы и смысловые — морфемы, слова. Каждое из этих «предложений» представляет собой единое целое, обозначающее определенную ситуацию. Именно поэтому языки подобного рода крайне неэкономичны. С помощью ограниченного числа смыслоразличительных и смысловых единиц (прежде всего слов) на языке человека (так же как на машинном языке) можно выразить практически бесконечное число фактов. В языке того же типа, к которому относится язык животных, для этого потребовалось бы бесконечное число языковых единиц [см.: Ветров А. А., 1968, гл. 3 § 3].

Таким образом, машинный язык, в отличие от языка животных, является языком и по функции, выполняемой им в коммуникатив-

ных процессах, и по структуре. Иными словами, машинный язык может быть назван языком и в семиотико-кибернетическом и в лингвистическом смысле. Язык же животных обладает свойствами языка лишь в семиотико-кибернетическом плане.

Специфика машинного «языка»

Теперь мы должны выявить еще одну важную особенность машинного языка. Но прежде нам необходимо кратко остановиться на психологических механизмах человеческого сознания.

По нашему мнению, существуют два основных уровня человеческого сознания: уровень переживаний (в широком смысле) и уровень осмысления. Из-за размера статьи мы вынуждены, не вдаваясь в теоретическое обсуждение вопроса, ограничиться лишь примером, разъясняющим сущность двух упомянутых уровней.

Предположим, городской житель, находясь в своей комнате, погружен в размышления. Он может при этом не замечать ни *шума городского транспорта*, ни *звуков радиоприемника*, включенного соседом, ни хлопающей двери лифта и т. д. Все эти раздражители находятся вне его сознания.

Но вот на улице раздается стремительно нарастающий звук. Он привлекает внимание глубоко задумавшегося человека. Человек замечает его, воспринимает (или переживает). В первый момент горожанин может не понять, что это такое, но звук как таковой уже вошел в его сознание. Это и есть уровень переживаний.

Затем человек догадывается, что по улице пронеслась машина «Скорой помощи». Воспринятый звук тем самым как-то осмысливается. Человек отдает себе отчет, что это такое. Это уже уровень осмысления.

Имеются разные формы осмысления. В данный момент нас интересуют формы осмысления непосредственно воспринятого. Их два: осмысление посредством образа представления и осмысление посредством называния, а тем самым и словесного мышления.

Мы можем понять, что за вещь перед нами, представив, например, действие, порождаемое ею. Эта форма осмысления была господствующей у того первобытного существа, которое, используя практически окружающие его вещи (палки, камни и т. п.), становилось человеком, но еще не обладало речью. Она же характерна для определенного периода умственного развития ребенка. Ребенок, еще не научившийся говорить, относится осмысленно ко многим предметам, которые встречаются в его опыте [см., например: Бюлер К. 1930, § 5]. Видя, например, ложку, он осмысливает, что это такое, представляя действие, которое он совершал ею прежде.

У человека, овладевшего языком, форма осмысления вещей посредством образа отступает на задний план, уступая место названию. Человек осознает воспринимаемое, называя его («это —

часы», «это — книга» или просто «часы», «книга» и т. д.), причем называние чаще всего осуществляется во внутренней речи. Осмысление с помощью слова, которое является сказуемым назывного предложения или с помощью слова-предложения, играет в жизни человека, по-видимому, решающую роль.

Сравним теперь психологические механизмы человеческого сознания с деятельностью электронной вычислительной машины.

Автомат, при построении которого не были использованы белковые вещества (а именно о таких машинах идет речь в настоящей работе), разумеется, лишен психических переживаний. Он может распознать, например, букву, напечатанную черной типографской краской на белой бумаге, но белое и черное он не воспринимает, не переживает, потому что у него нет внутреннего, субъективного мира; машина может воспроизвести внешние проявления эмоций, но сами эмоции (боль, гнев и т. д.) она не испытывает. Уровень переживаний (т. е. первый уровень сознания у машины отсутствует).

Понятие образа как переживания, будучи психологической категорией, к поведению машины не приложимо. Однако, что касается второй формы осмысления (осмысления посредством называния), то мы наталкиваемся на неожиданную и интересную аналогию. О ней сейчас и пойдет речь.

Рассмотрим вначале в общих чертах процесс распознавания образа (буквы, геометрической фигуры и т. д.) машиной.

Световой луч обследует распознаваемую фигуру (например, цифру пять), пересекая ее в определенных направлениях. В результате этого формируются электрические импульсы, так что белому, скажем, соответствует наличие импульса, а черному — его отсутствие (ср. принцип передачи изображений по телевидению). Возникает электрическая схема пятерки. В процессе машинного распознавания она занимает то же место, что и восприятие фигуры в процессе человеческого распознания. Затем электрическая схема сравнивается с эталоном, хранящимся в памяти машины в форме электрических импульсов, причем эталон выполняет здесь ту же роль, что и образ памяти, с которым человек сопоставляет воспринятую цифру, прежде чем назвать ее. Если электрическая схема и эталон совпадут, машина охарактеризует опознанную фигуру как пятерку.

Разумеется, в самой машине слово «пятерка» не встречается. Оно палицо лишь в выходном устройстве машины. В самой машине имеется только определенная последовательность электрических импульсов, которая заранее запрограммирована таким образом, что она появляется при совпадении полученной электрической схемы с эталоном (а затем поступает на выход, где перекодируется в слово естественного языка).

Но что представляет собою эта последовательность электрических импульсов с функциональной, семиотико-кибернетической точки зрения? Занимая в процессе машинного опознания, взятого

в целом, то же место, какое принадлежит слову-предложению, произносимому мысленно, про себя человеком, распознавшим цифру пять, она как раз и выполняет функцию слова-предложения. Машина обозначает опознанную фигуру с помощью определенной совокупности электрических импульсов, символически представляющих текущее состояние в поле деятельности автомата [см.: Маккей Д. М., 1956, с. 306, 307, 310 и 324]. Человек отвечает на распознанную цифру словом или предложением, машина внутренним состоянием определенного рода (совокупностью физических элементов внутри автомата, по выражению Д. М. Маккея).

Если воспринимаемые человеком пятерки отличаются друг от друга по начертанию, то человек игнорирует эти различия, отвлекается от них и все воспринятые цифры называет одним и тем же словом «пятерка». Может ли подобным же образом реагировать на распознаваемые цифры машина? Оказывается, может. Машина способна отвечать на распознанные ею пятерки, имеющие различные начертания, одним и тем же внутренним состоянием (одной и той же совокупностью физических элементов — электрических импульсов), то есть машине доступно обобщение.

Анализ механизмов обобщения машины не входит в нашу задачу. Отметим лишь один момент, существенный для уяснения *вопроса о машинном языке.*

В машинах, которые работают по программам, составленным *применительно к непересекающимся классам (образам)*, механизм обобщения (если ограничиться самой общей его характеристикой) *осуществляется так. Пусть машина распознает пятерки*, написанные или отпечатанные по-разному. В каждом отдельном случае *опознания* формируется электрическая схема распознаваемой цифры. Особенностью этих электрических схем является то, что они, так сказать, ложатся кучно, компактно, образуя единую компактную область в пространстве признаков или рецепторов. Как бы ни отличались эти схемы друг от друга, их различия все же меньше, чем различие между ними и электрическими схемами, полученными от другой цифры (например, троек разной формы). Последние схемы также лягут кучно, компактно, но они войдут уже в другую компактную область [см.: Аркадьев А. Г. и Браверман Э. М., 1971].

Машина, способная к обобщению, как раз и сравнивает распознаваемую цифру с компактными областями (а не с точно фиксированными эталонами; в последнем случае автомат, который узнает цифру «5», отпечатанную на пишущей машинке одного типа, не узнает той же цифры, если она отпечатана на машинке другого типа). Пятерка, распознаваемая автоматом, может значительно отличаться от пятерок, распознанных ранее (в прошлом опыте). Но так как ее электрическая схема войдет в ту же самую компактную область, что и электрические схемы уже распознанных пятерок, машина ответит тем же самым внутренним состоянием, каким она отвечала на пятерки прежде. Нетрудно видеть, что в данном

случае роль компактной области аналогична роли общего представления у человека, а роль внутреннего состояния — роли общего имени.

Таким образом, распознает ли машина цифры с помощью жестко фиксированного эталона или с помощью компактной области, она совершает ряд операций, аналогичных производимым человеком при осмыслении воспринятого явления посредством слова-предложения. Последовательность этих операций такова: формирование электрической схемы (соответственно у человека — восприятие непосредственно данного), сравнение ее с эталоном или с компактной областью (соответственно у человека — сравнение воспринятого с (обобщенным) образом), производство внутреннего состояния, обозначающего распознанную цифру (соответственно у человека — называние). Внутреннее состояние машины, завершающее процесс опознания, занимает то же место и выполняет ту же функцию, что и слово-предложение, произносимое про себя человеком, когда процесс распознавания закончен. Это внутреннее состояние, будучи функциональным словом-предложением, является элементом машинного языка, «языковой» единицей.

Будем называть внутренние состояния машины (совокупности электрических импульсов), обозначающие распознаваемые машиной вещи (или другие ее внутренние состояния), внутренним машинным языком. Внутренний машинный язык противопоставляется внешнему машинному языку. О последнем шла речь во втором разделе. Это — язык, предложения которого образуются из различных комбинаций двух цифр — единицы и нуля. На этом языке происходит общение человека с машиной. Внешний машинный язык как язык, на котором поступает информация в машину (от человека или другой машины) и на котором информация выдается машиной, встречается на входе и выходе машины: внутри самой машины, где информация циркулирует в форме электрических импульсов, он не существует.

Напротив, внутренний машинный язык никогда не принимает форму внешних сигналов: он встречается только в самой машине. Это — ее внутренние состояния, выполняющие особую роль по отношению к внешним явлениям (или другим внутренним состояниям), а именно, обозначающие их подобно тому, как слово-предложение человеческого языка обозначает внешний предмет (или факт психической жизни) [11].

[11] В своей статье «О некоторых понятиях теории математических машин» Козмидиади В. А. и Чернявский В. С. [1962, с. 131] определяют внутренний язык машины как систему физических объектов, рассматриваемых вместе с некоторой их интерпретацией. Эта концепция заслуживает специального анализа, который невозможен в рамках данной работы. Отметим лишь следующий момент: авторы в некоторых случаях смешивают язык как систему физических объектов, образующих машину, с языком как специальным способом рассмотрения машины [см. там же, с. 131—132]. Но это далеко не тождественные вещи. То, что В. А. Козмидиади и

На основании всего изложенного в данной работе можно сформулировать принципиальной важности вывод, касающийся вопроса *о разграничении «мышления» и «языка» в машине* (*содержания* сигнала и самого сигнала).

Во втором разделе было показано, что по отношению к языковым единицам внешнего машинного языка, данным на входе машины, внутренние машинные состояния, пробуждаемые ими, выполняют роль функциональных смыслов, содержаний. С другой стороны, мы только что убедились, что по отношению к распознаваемым машиной вещам ее внутренние состояния являются «языковыми» единицами (образующими внутренний машинный язык), сигналами.

Следовательно, *на уровне машины различие между «мышлением» и «языком»* (содержанием и сигналом) *относительно*. В одной ситуации внутренние машинные состояния представляют собой функциональный смысл (содержание); в другой ситуации внутренние состояния машины выступают в качестве функциональных слов-предложений (сигналов). «Быть смыслом (содержанием)» и «быть словом (сигналом)» не абсолютные, а относительные свойства внутренних машинных состояний.

Наконец, последнее замечание, которым мы и завершим статью.

Различие между внешним и внутренним языком в рассмотренном выше смысле не свойственно человеческому языку. Так называемая внутренняя речь есть не что иное, как использование того же языка, который служит средством общения с другими людьми. Во внутренней речи встречаются выражения звукового языка, с тем лишь отличием, что они произносятся не вслух, а про себя [12]. Единицы же внутреннего машинного языка (электрические импульсы) не совпадают с единицами внешнего машинного языка (*различные комбинации единиц и нулей*).

Точно так же на уровне человека различие между мыслью и языком носит совершенно иной характер. Человеческая мысль и слово, будучи тесно связанными друг с другом, все же представляют собой явления, разные по своей природе: мысль есть идеальный умственный образ, а слово — физическая материя, имеющая умственный образ в качестве своего смысла. В машине же и смысловое содержание, и слово суть явления одинаковой природы. Это — физические элементы (внутренние физические состояния), при одних обстоятельствах функционирующие как содержания, а при других — как сигналы.

Таким образом, сопоставительное рассмотрение языков машины, человека и животных позволило выявить следующие основные особенности машинного языка:

В. С. Чернявский называют специальным способом рассмотрения машины, мы отнесли бы скорее к внешнему машинному языку.

[12] Мы отвлекаемся здесь от того факта, что внутренняя речь характеризуется несколько иной грамматикой, чем речь, обращенная к другому лицу, поскольку этот факт в данном случае не имеет решающего значения.

1) В машинном языке существует различие между внешним и внутренним языком. Этого различия не знает ни язык человека, ни тем более язык животных.

2) Машинный язык, как и любой язык, обладает своей семантикой. Единицы машинного языка наделены содержанием («смыслом»). Однако в сравнении с человеческим языком этот смысл функционален.

3) Структура машинного языка в основном не отличается от структуры языка человека.

4) Специфическую особенность машинного языка составляет относительность различия между содержанием сигнала и сигналом. И содержание сигнала (машинный смысл), и сигнал (машинное слово) одинаковы по своей природе. Это — физические элементы. Наоборот, различие между мыслью и словом человека заключается в различии их природы.

Литература

Арнаудов Д. Д. О некоторых характерных чертах АЛГОЛ-68 и его связи с АЛГОЛОМ-60.— В кн.: Цифровая вычислительная техника и программирование. М., 1969.

Аркадьев А. Г., Браверман Э. М. Обучение машины классификации объектов. М., 1971.

Бюлер К. Очерк духовного развития ребенка. М., 1930.

Ветров А. А. Семиотика и ее основные проблемы. М., 1968.

Ефимов М. Н. Алгоритмические языки. М., 1965.

Ефремов Г. О. Язык математических машин. М., 1967.

Козмидиади В. А., Чернявский В. С. О некоторых понятиях теории математических машин.— Вопросы теории математических машин, сб. 2. М., 1962.

Куффиньяль Л. Кибернетика — искусство управления.— В кн.: Кибернетика ожидаемая и кибернетика неожиданная. М., 1968.

Маккей Д. М. Проблема образования понятий автоматами.— В кн.: Автоматы. М., 1956.

Москович В. А. Информационные языки. М., 1971.

Панов Д. Ю. Предисловие к книге: *Бельская И. К.* Язык человека и машины. М., 1969.

Полетаев И. А. Сигнал. М., 1958.

Пуайен Ж., Пуайен Ж. Электронный язык. М., 1963.

Фриш К. Из жизни пчел. М., 1966.

Шилейко А. В. Язык автоматов. М., 1969.

Шорохова Е. В. Проблема сознания в философии и естествознании. М., 1961.

Штейнбух К. Автомат и человек. М., 1967.

Garwin P. L. Desiniotional Model of Language.— In: *Garwin P.* Natural Language and Computer. N. Y., 1963.

Jakobson R. Cardinal dichotomy in Language. N. Y., 1957.

ВЫБОР РЕШЕНИЯ И НЕОПРЕДЕЛЕННОСТЬ

А. Д. Урсул

Хотя теория исследования операций, представляющая по замечанию А. А. Ляпунова [см.: Ляпунов А. А., 1972, с. 7], «весьма существенную часть кибернетики», интенсивно развивается, философы заинтересовались ею сравнительно поздно. Между тем в теории исследования операций, в ее предмете и методах очень тесно переплетаются субъективные и объективные факторы, что и привлекает прежде всего внимание философов.

Вполне понятно, что исследование операций имеет свой предмет и методы, отличающие эту теорию от других теорий науки и, в частности, от других разделов кибернетики. Если предметом изучения кибернетики являются процессы управления и связи в биологической и социальной сферах действительности, то исследование операций акцентирует свое внимание лишь на «математических моделях и методах обоснования решений в целенаправленной деятельности любого масштаба и характера» [Динер И. Я., 1970, с. 32].

Иногда высказывается мнение, что в исследовании операций «объекты как таковые не рассматриваются», что единство способа, а не предмета исследования составляет суть этой теории [см.: Смолян Г. Л., 1967, с. 24—25]. С таким взглядом, разрывающим единство предмета и метода, согласиться, разумеется, нельзя и не случайно высказывающий эти утверждения автор противоречит самому себе, пытаясь дать определение теории исследования операций, где все-таки говорится и о ее предмете, изучении конкретных социальных процессов, так или иначе связанных с принятием решений, организационной и управленческой деятельностью.

И здесь нельзя согласиться с этим автором, неоправданно сужающим предмет исследования операций лишь социальными процессами. Видимо, исследование операций является все же частью кибернетики и, следовательно, изучает определенные аспекты любой целенаправленной деятельности, а не только деятельности людей (т. е. принятие и обоснование решений, принимаемых биологическими существами и автоматами).

Существенной особенностью решений, изучаемых теорией исследования операций, является то, что они выбираются в условиях неопределенности. Надо сказать, что исследование операций включило в сферу своего анализа лишь некоторые виды неопределенности, другие же, в основном касающиеся практики принятия решения, остались еще неизученными. И даже более того, исторически сложилось так, что сами специалисты в области исследования операций (операционисты) вначале не осознали фундаментальную роль проблемы неопределенности, считая ее лишь одним из видов некоптролируемых факторов в исследовании операций.

И некоторые философы, начавшие заниматься методологическими вопросами исследования операций, присоединились к этой точке зрения, придавая неопределенности исключительно гносеологический смысл, отождествляя ее с неинформированностью.

Не удивительно, что эта узкая и потому методологически ограниченная позиция начала преодолеваться в работах самих операционистов, о чем далее будет идти речь. В данной главе автор не претендует на какие-либо инновации в области исследования операций,— его задача заключается совсем в другом: обратить внимание на некоторые гносеологические особенности и характеристики проблемы связи неопределенности и выбора решения и прежде всего имеющие отношение к субъект-объектным взаимодействиям.

Исследование операций и понятие неопределенности

Известно, что роль понятия неопределенности существенно *возрастает в современной науке и особенно в кибернетике.* На основе категории неопределенности интерпретируется понятие информации в вероятностно-статистической теории информации; неопределенность проникла в теорию автоматического регулирования (где обнаружен свой, аналогичный квантовомеханическому принцип неопределенности), в теорию алгоритмов (где, казалось бы, понятие алгоритма носит строго детерминистский характер) и т. д. Широкое использование понятия неопределенности в кибернетике не означает, конечно, что оно (как, впрочем, и понятие информации) является только кибернетическим, частнонаучным понятием. На наш взгляд, категории определенности и неопределенности выступают по меньшей мере как общенаучные, а, возможно, и как философские категории (хотя последнее утверждение требует еще обстоятельного обоснования).

В исследовании операций также все больше и все чаще говорят о тех или иных видах неопределенности — характерным примером такого рода работ является книга, изданная под редакцией Э. Квейда [1969], *где различные авторы подчеркивают необходимость* учета неопределенности при выборе решения и дают те или иные классификации видов неопределенности. Далее мы попытаемся дать гносеологическую классификацию различным видам неопределенности в теории исследования операций и при этом, естественно, воспользуемся теми результатами, которые получены в работах видных операционистов.

В теории игр стало почти общепринятым рассматривать неопределенность по меньшей мере в двух аспектах. Во-первых, неопределенность может быть обусловлена недостаточным знанием тех объектов, в отношении которых происходит выбор решения. Во-вторых, неопределенность в теории игр может иметь «сознательное» происхождение в том случае, если рассматриваются игры людей, которые порождают неопределенность у своего парт-

нера. Таким образом, само представление неопределенности в теории игр имеет важное гносеологическое содержание — неопределенность в данном случае выступает как одна из характеристик отношения субъекта и объекта. Вполне понятно, что субъект в теории игр (игрок) не тождествен понятию гносеологического субъекта, а представляет собой лишь существенно упрощенную и неполную математически эксплицированную модель. И тем не менее это упрощение познавательной ситуации, в частности понятия субъекта, отнюдь не приводит к каким-то тривиальностям даже в содержательном плане; оно сосредоточивает внимание на исследовании снятия неопределенности в процессе выбора решения. Причем сам выбор представляет собой снятие, устранение той или иной неопределенности, т. е. в этом смысле он выступает как определенность действия. Тем самым действие категорий «определенность — неопределенность» в теории игр и исследовании операций оказывается более содержательным, чем в теории информации, где оно «работает» лишь при анализе передачи сообщений. В теории игр, наряду с коммуникативным моментом дополнительно вводятся гносеологический и управленческий аспекты понятия неопределенности, т. е. становится возможным эксплицировать неопределенность в этих трех аспектах, как одну из характеристик «деятельности» кибернетических систем.

Из этого факта, конечно, не следует вывод о том, что «определенность — неопределенность» является только субъективной характеристикой и не имеет онтологического содержания. Такой вывод противоречит данным современной науки и философии [см.: Готт В. С., Урсул А. Д., 1971 (а, б); Урсул А. Д., 1973]. Поэтому мы не можем согласиться с предложением И. С. Тимофеева оставить за категориями «неопределенность — определенность» только их гносеологический смысл, не «придавать им онтологического значения» [Тимофеев И. С., 1972, с. 14]. Такое предложение, если его принять, запрещает говорить об «определенности — неопределенности», существующей независимо от познающего субъекта, и фактически отождествляет определенность со знанием, а неопределенность с незнанием.

Подобное отождествление, как известно, было довольно распространенным в философии, как и чисто субъективное представление неопределенности [1]. Вряд ли стоит настаивать лишь на *гносеологическом значении упомянутых категорий хотя бы потому*, что тенденция объективизации затронула не только их, но и понятия вероятности, информации, управления, цели и т. д.

Что касается отождествления понятий знания и определенности, незнания и неопределенности, то оно характерно было не только для философии, но и для статистической теории информации, где получение информации представляется процессом умень-

[1] Впрочем, это и до сих пор имеет место в ряде работ [см., например: де Бройль, 1966].

шения неопределенности. Лишь после того, как стало ясно, что понятие информации может быть объяснено на основе более широких концепций, а не только с позиций снятия неопределенности, появилась возможность «разорвать» столь жесткую связь знания и определенности, незнания и неопределенности.

Отождествление знания и определенности, незнания и неопределенности оказалось несостоятельным с тех пор, как процесс познания стал рассматриваться как процесс отражения. В процессе отражения в знании может воспроизводиться как определенность, так и неопределенность, которые объективно присущи предмету познания. Было бы странно выделять из отражения — результата только определенность и объявлять это знанием, тогда, как другую характеристику объекта познания — неопределенность, тоже отраженную субъектом, считать незнанием. Чисто гносеологическое значение категорий определенности и неопределенности можно считать с позиций теории отражения анахронизмом, характерным для домарксистской философии.

Объективное (онтологическое) значение этих категорий подтверждает не только квантовая механика, но и исследование операций. Сами специалисты в области исследования операций подчеркивают, что «объективную неопределенность невозможно устранить углубленным анализом, она всегда присутствует в любом исследовании проблем реальной действительности. Ее следует четко выявить и в результате анализа определить возможные воздействия неопределенностей» [Квейд Э., 1969, с. 455]. Одним из видов объективной, исключающей какие-либо «скрытые параметры», является та неопределенность, о которой в теории игр говорят как о случайной (или точнее сказать стохастической), когда решения принимаются в условиях «риска». Эта и другие виды объективной неопределенности отображаются соответствующими математическими моделями в исследовании операций и предполагается, что выбор «разумных» решений, выбор поведения самоуправляемых систем происходит с учетом этой неопределенности.

Различные по своему существу виды неопределенностей даже могут служить основанием для классификации различных типов игр; в зависимости от причин неопределенности результата игры все игры делятся на три класса [Воробьев Н. Н., 1970, 634—635]. Во-первых, комбинаторные игры, где неопределенность порождается многообразием исходов игры, хотя условия, в которых принимаются решения, известны субъекту полностью. Комбинаторные игры считают самыми простыми и часто в теории игр их даже не связывают с неопределенностью, так как субъект полностью располагает информацией, влияющей на его выбор решения. На основании этого нельзя сказать, что здесь в условиях определенности знания не происходит выбора и тем самым считать этот случай однозначно детерминированным во всех отношениях. Выбор всегда происходит в условиях неопределенности, в частности простого комбинаторного разнообразия, когда имеются как минимум две

известные субъекту возможности. Наличие одной единственной возможности лишает выбор смысла, ибо выбирать не из чего; все в этом случае осуществляется с «железной» необходимостью. Поэтому полная определенность знания о комбинаторном многообразии здесь сопряжена с неопределенностью выбора решения как действия, ибо это выбор одной или нескольких возможностей из упомянутого многообразия. Основой выбора является полное знание о многообразии, но сам выбор возможен лишь при наличии некоторой цели или критерия выбора. Но даже в случае однозначно определенного критерия подобный выбор не всегда предполагает осуществление единственной возможности, т. е. объективно существуют две и более равных возможностей выбора, что в конечном счете приводит в действие рандомизированный способ выбора типа «буриданова» решения. В случае же неоднозначного критерия (наличие двух и более различных целей) такой единственной возможности тем более может не быть. Короче говоря, «комбинаторные» решения отнюдь не являются решениями с полной определенностью, здесь так или иначе присутствует неопределенность окончательного выбора.

О втором типе неопределенности, вероятностной, стохастической уже упоминалось. Ее отличие от комбинаторной связано с воздействием случайных факторов, хотя игровые ситуации в данном случае не являются полностью случайными, а представляют собой взаимосвязь необходимого и случайного. К неопределенности выбора решения, как это было в предыдущем случае, при наличии многообразия в этом классе игр дополнительно добавляется «случайная» неопределенность, обусловливающая применение аппарата теории вероятностей, позволяющей экстремизировать математическое ожидание функционала распределения.

Наконец, третий тип неопределенности результата исхода игры носит «конфликтный» характер, имеет стратегическое происхождение, т. е. игрок может не знать, какого образа действий придерживается его противник, потому что он старается их скрыть. Все названные три типа неопределенности носят объективный характер относительно субъекта, выбирающего решения, поскольку их источник существует объективно-реально.

В исследовании операций рассматриваются ситуации, учитывающие не только объективную, но и гносеологически противоположную ей — *субъективную неопределенность*. Прежде всего — это классический случай, когда известно многообразие возможных подходов, но без какой-либо дополнительной информации, например, о вероятностях их распределения. Случай полного незнания даже о наличии многообразия возможностей должен быть исключен,— такое незнание не предполагает выбора. Субъект может выбирать решения лишь в том случае, если он знает, что происходит выбор. Если он не осознает, что производит «выбор», не знает спектра возможностей, то хотя объективно его поведение и представляет отбор возможностей, превращение неопределенности в

определенность, но сознательным выбором это нельзя назвать. Сам выбор как осмысленное действие возможен лишь в промежутке между полной определенностью (отсутствием альтернативных возможностей) и полной неопределенностью (полным незнанием наличия возможностей). Отмеченные крайние случаи исключают выбор в силу чисто объективных или чисто субъективных причин. Выбор в форме сознательного целенаправленного действия, следовательно, детерминирован как объективно, так и субъективно определенностью и неопределенностью.

Отсутствие информации о вероятностях распределения разнообразия возможных вариантов представляется одним из наиболее сложных случаев в исследовании операций. Причем, в этом случае, как отмечают специалисты в области исследования операций, не ясны сами принципы оптимального выбора решений. Вполне понятно, что любой критерий выбора решения является некоторым способом преодоления незнания субъектом действительного состояния вещей и следствий, которые повлекут те или иные действия [Шанявски К., 1967, с. 87]. Но если об объекте почти ничего не известно, то приходится искать критерии «разумного» поведения, исходящие только из самого субъекта (к их числу относятся, например, критерии Вальда, Лапласа, Сэвиджа).

Однако эти критерии, как подчеркивает И. Я. Дипер, не опирающиеся на знание состояния природы, субъективны, иногда взаимно противоречивы, использование любого из них не находит достаточного основания [Дипер И. Я., 1972, с. 44]. Именно поэтому решения, принимаемые без учета объективных факторов, оказываются неудовлетворительными (что в общем было ясно и до появления теории игр и исследования операций). Поэтому усилия ученых направлены на поиски необходимых сведений об объекте решения, хотя бы косвенных и весьма грубых, неполных, интуитивных.

Незнание состояний природы, объекта, относительно которого принимается решение, не является единственной неопределенностью, обусловленной субъективными причинами[2]. Наряду с этим, можно назвать неопределенность целей и критериев выбора решения субъектом. Цель как особый вид опережающего отражения всегда связана с некоторой неопределенностью. В ряде случаев решения принимаются, когда неопределенность цели субъекта может быть весьма значительной, цель может флюктуировать в зависимости от состояния субъекта и т. д.

[2] Весьма часто гносеологическую (субъективную) неопределенность отождествляют только с отсутствием полной информации, исчерпывающих знаний о том или ином объекте. «Гносеологические истоки неопределенности,— пишет, например, В. Фельзенбаум,— коренятся в неполном отражении в нашем сознании в каждый момент времени свойств объективной реальности» [Фельзенбаум В., 1973, с. 309]. Ясно, что причины неопределенности в знании не сводятся только к упомянутому фактору, так же, как и объективная неопределенность не исчерпывается лишь наличием «случайности» [см. там же, с. 310].

Кроме того, в сложных задачах, особенно в условиях конфликтных ситуаций при взаимодействии нескольких игроков с противоположными или несовпадающими целями возникает неопределенность цели «коллективного» субъекта, ибо здесь выбор производится не только в отношении объекта решения, но и целей компонентов субъекта.

По признанию специалистов в области исследования операций, неопределенность цели является самой серьезной из всех неопределенностей. Ведь в этом случае, как заметил И. Я. Динер «мы не знаем, чего хотим» [Динер И. Я., 1972, с. 112]. Тем самым исследование операций подтверждает, что наиболее трудной ситуацией является та, которая требует принятия адекватного решения в условиях неопределенности цели и желаний.

Цель в исследовании операций отражается в математической модели целевой функции (или показателя эффективности операции). Если цель является не четкой, а неопределенной (а это действительно так и есть в той или иной степени), то и целевая функция также оказывается в силу этого неточной, неопределенной, являясь математическим отображением цели. Необходимо отметить, что дополнительная неопределенность целевой функции по отношению к цели получается в результате математической формализации цели. Казалось бы формализация для того и предназначена, чтобы уменьшать неопределенность, однако нужно учитывать, что формализация уменьшает неопределенность цели лишь в одном из аспектов. В тех же аспектах, которые не уточняются целевой функцией, неопределенность цели не уменьшается.

Как правило, специалист в области исследования операций ограничивается математическим анализом лишь сравнительно узкого спектра вариантов решений; он в принципе не может учесть всего качественного многообразия ситуаций. Поэтому, как отмечает Г. Вагнер, «должно быть очевидным, что результаты только количественного анализа никогда не могут явиться полным основанием для принятия того или иного стратегического решения» [Вагнер Г., 1972, с. 16].

Кроме того, некоторые исследователи отмечают низкое качество формализованных постановок задач, на основе которых ищется оптимальный выбор. Причем, по-видимому, недостаток формализации связан именно с неопределенностью субъективных факторов (цели, желаний, воли, интересов и т. д.). В свое время А. Эйнштейн, имея в виду определенные ситуации, отмечал, что характерным признаком нашего времени являются совершенные средства при неясных целях. Развитие и использование математических средств исследования операций в значительной степени подтверждает это положение.

Фактически как математика, так и классическая формальная логика основное внимание обращали на аспект формализации, связанный с адекватным отображением тех субъективных эле-

ментов знания, которые отображают внешний мир. Эта ориентация как формальной, так и диалектической логики на формы знания о внешнем мире вполне оправдана на определенном этапе познания, ибо действительно обоснованные решения и соответствующие им практические действия базируются на информации о внешнем мире, об объекте решения.

Исследование операций свидетельствует о том, что одной формализации знания об объекте оказывается уже недостаточно, необходима разработка средств формализации (причем все более полной) и факторов, имеющих в основном субъективное происхождение. И эта задача действительно более сложная, чем формализация знаний об объекте (и, например, современная символическая логика, как впрочем и диалектическая, делают в этом направлении лишь свои первые шаги). И здесь дело, конечно, не только в формальной, но и в содержательной стороне вопроса, ибо необходимо обстоятельно исследовать не только процесс отражения объекта субъектом, но и процессы отражения субъекта в объекте и феномены самоотражения, в частности адекватного самовыражения целей и желаний.

Это требует более углубленной разработки самой проблемы отражения — тем самым исследование операций ставит ряд важных проблем перед философией. Одной из них является уточнение и развитие понятия субъективного. Под субъективным обычно понимают адекватное отражение объективного (в связи с чем широко употребляется термин субъективная диалектика). О субъективном часто также говорят в том смысле, что это неполное, одностороннее отображение объекта или искажение объекта в знании [см.: Лекторский В. А., 1973, с. 112]. Вполне правомерно говорить о субъективном, в том особенном смысле, что оно может отображать цели, желания и волю самого субъекта, т. е. имманентные характеристики самого субъекта.

Итак, исследование операций на конкретно-научном уровне подчеркивает и развивает мысль о необходимости главной ориентации в практических действиях на объект познания (и решения), о неадекватности чисто субъективных, априорных мнений и актов. В этом смысле сами специалисты в области исследования операций подвергают критике критерии выбора решений, не опирающиеся на сведения об объекте. И. Я. Динер подчеркивает, что такие критерии «примиряют нас с неопределенностью, создают опасную иллюзию возможности обойтись при выборе решения без оценки реальной обстановки» [Динер И. Я., 1972, с. 102]. Сами эти критерии неопределенны, зачастую противоречивы и поэтому могут вести при их использовании также к противоположным результатам. Их лейтмотив — призыв к осторожности оказывается «неработоспособным», ибо эта «осторожность», например, в критерии Вальда и Сэвиджа, понимается по-разному. Исследование операций подчеркивает, что чисто субъективные решения, волюнтаризм, игнорирование знаний о реальной обстановке оказыва-

ются неприемлемыми, ибо они ведут к неадекватным решениям и практическим действиям.

Вместе с тем, исследование операций развивает и ту идею, которая разработана гораздо меньше — именно о необходимости для адекватного решения знания не только об объекте, но и о самом субъекте, его сущностных характеристик. Полная неопределенность, скажем, знаний о цели ведет к тем же результатам, что и полная неопределенность знаний об объекте,— к невозможности принятия адекватных решений [3]. Поэтому реальные ситуации, в которых исследование операций может оказывать эффективную помощь в выборе решений, заключены между полной неопределенностью знаний об объекте и полной неопределенностью субъективных факторов (цели, потребностей, желания, критериев), т. е. это ситуации, где наряду с неопределенностью «присутствует» определенность.

О принципе оптимальности при выборе решения

Наличие неопределенности объекта, субъекта и их отношений обусловливает особенности выбора решения самоуправляемыми системами. Прежде всего необходимо отметить, что выбор решения осуществляется для выполнения каких-то целей, выступающих в качестве «внутренних причин» выбора поведения самоуправляемых систем [4]. Поскольку деятельность направлена на достижение цели, то с самого начала она ориентирована на положительный результат целеосуществления.

Выбор решения происходит таким образом, чтобы можно было оптимизировать целеосуществление, получить некоторый гарантированный результат в условиях неопределенности. Получение такого результата возможно, в частности, при осторожном, «перестраховочном» поведении принимающего решения субъекта. Речь идет о том, чтобы максимизировать то минимальное значение показателя эффективности (целевой функции), которое субъект может себе обеспечить в наименее благоприятных условиях.

Конечно, в случае, когда существует полная определенность знания, но есть неопределенность выбора действия, такой выбор можно осуществить, максимизируя целевую функцию. Однако в случае неопределенности знания зачастую приходится ориентироваться лишь на максимизацию минимального значения показателя эффективности, т. е. попросту говоря, осуществлять наилучший выбор из наихудших вариантов. Почему это приходится де-

[3] Возможен, конечно, и случай, когда существует полная неопределенность не только целевая, но и знаний об объекте. Это самый «трудный» случай и он практически бессмыслен, исследование операций здесь бессильно (такой случай может быть лишь сюжетом сказок: «пойди туда, неизвестно куда, принеси то, неизвестно что»).

[4] Подробный анализ целевого причинения самоуправляемых систем см. в книге Б. С. Украинцева [1972, гл. 6 и 7].

лать, лучше всего может быть пояснено на примере игры двух лиц, преследующих противоположные цели.

В основе стратегических игр лежит аксиома, что «противник по меньшей мере столь же разумен, как и мы сами, и делает все для того, чтобы помешать нам добиться своей цели» [Вентцель Е. С., 1972, с. 449]. Поэтому, выбирая наилучшую (оптимальную) стратегию, один игрок должен рассчитывать, что его противник ответит таким своим выбором решения, что выигрыш первого будет минимален. Следовательно, первому игроку остается предпочесть лично для себя такую стратегию, которая максимизировала бы этот минимальный выигрыш, т. е. придерживаться так называемой максиминной стратегии. Максиминная стратегия для первого игрока как раз и даст ему некоторый гарантированный выигрыш, называемый нижней ценой игры, или максимином.

Аналогичные рассуждения справедливы и в отношении второго игрока, который выбирает решения наилучшим для себя и наихудшим способом для его противника. С одной стороны, он должен выбирать стратегии, обращающие выигрыш первого игрока в минимум, с другой стороны, опять ограничить их лишь такими, которые лично ему давали бы максимальный выигрыш. Это приводит к определению верхней цены игры, или минимакса.

Таким образом, исходя из предположения, что оба противника ведут себя очень осторожно, перестраховочно, надеясь в любой ситуации получить гарантированный выигрыш, в теории игр приходят к принципу минимакса. Выбирая решения согласно принципу минимакса, игроки тем самым придерживаются оптимальных для себя стратегий, ибо отклонение от них может или ухудшить положение, или увеличить неопределенность. Если предположить, что оба противника одинаково «разумны», то ни одному из них не имеет смысла отклоняться от оптимальной стратегии.

Принцип минимакса, наиболее полно разработанный в теории антагонистических игр, является одним из частных, но, возможно, наиболее важных случаев принципа гарантированного результата, он «строится» в русле идеи кибернетики о том, что всякое управленческое действие должно быть ориентировано на положительный результат. Вместе с тем нельзя не видеть, что принцип минимакса отнюдь не исчерпывает всех ситуаций, когда положительный результат может быть получен иным путем, не столь осторожным и перестраховочным. Это, конечно, не значит, что принцип минимакса лишен элементов риска и неопределенности, он и здесь есть, хотя бы уже в самой постановке цели и т. д.

Наличие элементов риска, а значит и случайности, следует из известных философских положений о взаимосвязи необходимости и случайности, определенности и неопределенности. Поэтому то, что, применяя принцип минимакса, мы построили математическую модель, максимально элиминировавшую случайности и риск, не означает, что их нет в действительности. Однако они появляются объективно-реально, не на теоретическом уровне ис-

следования операций, а в условиях принятия решений. Тот, кто принимает решения, должен учитывать результаты теоретического исследования операций, но отнюдь не обязан, как уже говорилось, автоматически принимать решения на основе результатов математической модели. Ведь эта модель далеко не все может формализовать и математизировать, в ней невозможно (во всяком случае на нынешнем уровне) учесть многие факторы, которые могут быть приняты во внимание на интуитивно-содержательном уровне. Поэтому, если перейти от «выбора решения» на уровне исследования операций к его практическому принятию,— здесь нужно исходить не из простого «копирования» советов исследователя операций, а из творческого, диалектического сочетания полученных формальным путем советов по принятию решений и интуитивно-содержательных элементов реального процесса принятия решения. Однако нужно отметить, что тенденция формализации выбора решений будет расти, ибо это позволяет принимать более адекватные решения, особенно в тех случаях, когда одна «интуиция» уже оказывается неработоспособной.

Поскольку тенденция математизации выбора решений и далее будет развиваться, здесь необходимы дальнейшие методологические разработки, в особенности при изучении не «минимаксных», но в то же время оптимальных стратегий. Ведь в том случае, когда нельзя дать гарантированного решения, как заметил Ю. В. Чуев, «исследование операций на этом не кончается, а встает перед целым рядом других возможных шагов, очень сложных и, по-видимому, таких, где математика переплетается с философией и теория которых еще не разработана» [1972, с. 113]. По сути дела речь идет об участии философов в проблеме обоснования исследования операций.

Многие исследователи в области теории игр ныне отмечают как ограниченность принципа минимакса, так и той аксиоматики, которой он соответствует. Минимакс адекватен в основном для игр, где партнеры придерживаются противоположных целей, находятся в состоянии конфликта. Минимакс — это частный случай принципа равновесия для антагонистических игр, когда ни одному игроку не имеет смысла уклоняться от принятой им стратегии, сводя к минимуму все худшее, что может случиться. Если говорить о приложениях, то такая ситуация весьма характерна для общества, где конфликт является его атрибутом, где отдельным его частям присущи антагонистические противоречия. Именно для отражения конфликтных ситуаций и был предложен принцип минимакса Дж. фон Нейманом, получивший затем дальнейшее наиболее полное развитие. Помимо чисто научного интереса, развитие теории игр было стимулировано и соответствующими социальными факторами и условиями [5].

[5] Следует отметить, что возникновение теории игр (исследование операций) и начальное интенсивное развитие ее обязано одному из самых масштаб-

Для другого класса игр — игр с союзником (так называемых кооперативных игр) принцип минимакса отнюдь не играет той роли принципа оптимизации, которая принадлежала ему в теории игр с противником. Здесь принцип минимакса, как отмечает В. И. Борисов, играет лишь вспомогательную роль,— используется для корректировки границ переговорного множества, из которого выбирается компромиссное оптимальное решение [Борисов В. И., 1972, с. 124]. И хотя кооперативная теория была разработана в основополагающей книге Дж. фон Неймана и О. Моргенштерна, тем не менее она долгое время почти не получала применений. Среди причин этого, кроме чисто математических, Н. Н. Воробьев называет еще две весьма существенных [Воробьев Н. Н., 1970, с. 680]. Одна из них заключается в том, что в упомянутых социальных условиях широкое применение получила лишь теория антагонистических игр, тогда как кооперативная теория стояла в стороне от интересов тех, кто мог бы ее применить.

Это оказало и влияние на выбор принципов оптимизации для теории кооперативных игр — было неясно в чем заключается критерий оптимального поведения в условиях, не сводящихся и даже противоположных состоянию конфликта. Именно эти обстоятельства привели к тому, что, как заметил Н. Н. Воробьев, «кооперативная теория представляет собой в настоящий момент довольно пеструю картину» [там же, с. 681]. Разработка принципов оптимального выбора решений в играх с непротивоположными интересами, в частности с союзником — задача, которая является одной из важнейших в теории игр, ибо все больше увеличивается возможная область приложения такой теории (игры с «близкими» интересами, игры типа соревнований, взаимодействия в иерархических системах и т. д.) — в этом направлении уже делаются существенные шаги [см.: Гермейер Ю. Б., 1972].

Далее. Минимаксный принцип в играх с природой также используется, но очень редко, лишь в определенном классе задач и он не может претендовать на то же место, что и в теории антагонистических игр. Например, критерий Вальда использует этот принцип, но исходит из предположения, что на месте природы находится коварный и мстительный противник и поэтому необходимо выбирать стратегию максимального выгрыша в наихудших условиях. Конечно, как показывают последствия реальной «игры»

ных социальных конфликтов нашего времени — второй мировой войне. Затем из военной сферы исследование операций обнаружило движение в гражданские сферы организации и управления; впрочем так развивались и многие другие научные и технические направления, которые составили в совокупности то, что мы сейчас называем научно-технической революцией. Объясняя возникновение и развитие исследования операций, Морз Ф. М. и Кимбелл Дж. Е. отмечают, что «во время войны на карту были поставлены человеческие жизни и национальная независимость, в то время как в мирные дни дело касается лишь денег и прибыли» [Морз Ф. М., Кимбелл Дж. Е., 1956, с. 24].

с природой (а это подчеркивал в свое время еще Ф. Энгельс) в ряде случаев природа нам действительно мстит, но не потому, что она преследует противоположные «цели»[6] и обладает сознанием, а просто потому, что этим последним неправильно в силу тех или иных обстоятельств пользуются действительные его обладатели.

Перефразируя известное выражение А. Эйнштейна, можно сказать, что природа коварна, но не злонамерена. Поэтому применение максиминного критерия Вальда в играх с природой, опирающегося на антропоморфно-антагонистические представления, оказывается крайне пессимистичным, так же как и минимаксного критерия Сэвиджа, рекомендующего любыми путями избегать максимального риска. Впрочем и более оптимистичный и несколько более сложный критерий Гурвица, использующий минимаксные соображения, также оказывается неадекватным и по сути дела не менее субъективистским.

Применение принципа минимакса и других, базирующихся на нем критериев, обнаруживает свою границу как только мы выходим за сферу конфликтных ситуаций. Применение принципа минимакса в этих случаях можно объяснить скорее традицией, данью классическому «теоретико-игровому мышлению», чем учетом реальной ситуации, отражением ее в аксиомах и принципах теории. Можно полностью согласиться с В. И. Борисовым, что «при выборе принципа оптимальности, видимо, следует придерживаться такой логической последовательности: ситуация (или класс ситуаций) — аксиоматика — принцип оптимальности(или класс инвариантных принципов)» [1972, с. 124].

Здесь применительно к специфике исследования операций конкретизируются очень важные философские положения. Разумеется, не существует единого принципа оптимальности, пригодного для всех ситуаций, всех субъектов и т. д. Эта истина выявилась еще в ходе реакции философов на категорический императив И. Канта, особенно в результате марксистской критики этого принципа. Ведь категорический императив Канта — это, в сущности, один из принципов выбора решения («Поступай так, чтобы максима твоей воли всегда могла быть вместе с тем и принципом всеобщего законодательства»), причем абсолютно для всех людей в обществе, независимо от их социального и прежде всего классового положения. В настоящее время категорический императив Канта используется одним из западногерманских специалистов в области космического права Э. Фазаном для обоснования выборов решений при взаимодействии космических цивилизаций.

Принципы выбора оптимального поведения не могут быть од-

[6] Следует, однако, отметить, что лишь в неживой природе отсутствуют цели, тогда как биологические системы преследуют свои «цели» при взаимодействии с человеком Поэтому высказывания операционистов о потери смысла представлений о выгоде или целенаправленности «поведения природы» относятся в полной мере лишь к неорганической природе.

ними и теми же и для всех космических цивилизаций, и для людей в классовом обществе и даже, как уже говорилось, для различных классов «игровых» ситуаций. Поэтому критика в адрес категорического императива И. Канта в определенной степени на другом языке и уровне воспроизводится ныне и в отношении максимина. Это тем более очевидно, если учесть, что и для категорического императива и для принципа минимакса характерны общие содержательные предположения, что взаимодействующие стороны будут поступать одинаково в отношении друг друга. И хотя И. Кант имел в виду совершенно иной характер абстрактных отношений людей, чем это подразумевается в аксиоме теории антагонистических игр, на основе которой формулируется принцип минимакса, тем не менее, уже сама по себе идея «одинакового взаимоотношения», не учитывает объективно-реального различия взаимодействующих партнеров.

Совершенно ясно, что при взаимодействии человека и природы эта последняя не эквивалентна человеку в смысле «выбора решений», поэтому, скажем, критерий Вальда, приписывающий «целенаправленное коварство» природе, неадекватен и здесь предпочтительнее делать даже случайный выбор, чем исходить из соображений упомянутого критерия. Только в редких случаях игроки могут быть одинаково «разумны», в действительности же они ведут себя совершенно различно и нередко «неразумно». Поэтому действительный выбор решения может сильно отличаться от решений, принимаемых на базе принципа минимакса, ибо в его основе лежит довольно сильная абстракция равной «разумности» взаимодействующих игроков.

Уместно отметить, что аксиома «одинаковости» поведения игроков иногда истолковывается в чисто информационном плане: именно считается, что игроки равноправны лишь в том отношении, что имеют одинаковый уровень информированности [см.: Смолян Г. Л., 1968, с. 17]. Однако такая трактовка оказывается слишком узкой, ибо принцип равноправия игроков, ведущий к ситуации равновесия и, в частности к минимаксу, предполагает соблюдение и ряда иных одинаковых условий даже при условии одинаковой информированности: наличие равных возможностей и средств выбора решения, времени и т. д.

Учет только информационного аспекта приводит и к односторонним взглядам на перспективы развития теории игр, когда, например, абсолютизируются возможности так называемого «рефлексивного» подхода в теории игр, который, конечно, повышает в какой-то мере степень информированности, но совершенно не касается иных сторон поведения игроков в реальных ситуациях [7].

[7] Кроме того, учет субъективных моментов, повышающих степень адекватного поведения игроков осуществляется далеко не только в рамках рефлексивного подхода к анализу конфликта, но и в других работах в области исследования операций, например, в работах Ю. Б. Гермейера [1967, 1971, 1972].

Гносеологическая причина абсолютизации информационного аспекта в ряде работ по исследованию операций связана с тем, что эта теория в известной степени абстрагируется от ряда факторов действительного принятия решений. В ряде работ даже подчеркивается противоречивость положения операциониста и лица, принимающего решения, руководителя, считая, что первый стоит на научной и непредвзятой точке зрения [см.: Морз Ф. М., Кимбелл Дж. Е., 1956, с. 23). Нетрудно видеть, в результате чего достигается такая «научность» и «непредвзятость»: операционист просто абстрагируется от ряда факторов, которые он не может учесть количественно, скажем навыки и обычаи, моральные и правовые нормы, психологическое состояние, различные конъюнктурные факторы, мнение вышестоящего руководителя и т. д. Лицо, принимающее решение, должно учитывать факторы, которые не поддаются математическому моделированию и иногда принимать решения вопреки предложениям операциониста: требования практики оказываются сильнее рекомендаций теории.

Тот, кто принимает решение, обязательно должен иметь в виду те предпосылки и условия, которые лежат в основании стратегий предлагаемых операционистом, в том числе и минимаксных стратегий. Кроме того, учитывая, что любая реальная ситуация принятия решений в условиях той или иной неопределенности, гораздо сложнее любой теоретической (в том числе соответствующей минимаксу), необходимо для принимающего решения иметь не одну единственную возможность принятия решения, а целый их спектр. Эти решения могут рассматриваться как некоторые изыскательские прогнозы того, что можно было бы ожидать от их осуществления, если будет принято то или иное решение. В то же время одно единственное решение, предположим, по принципу минимакса, выступает скорее как нормативный прогноз, заранее предсказывающий осуществление одной возможности, если будут обеспечены соответствующие средства ее осуществления.

Выбор решения в этом смысле представляет собой прогнозирование (нормативное, поисковое или комплексное), ибо он направлен в будущее (решение будет принято только в будущем) и, кроме того, как и прогнозирование, выбор решения преследует цель снятия, уменьшения неопределенности. Сходны также и функции операционистов и прогнозистов: они выступают только в роли советников или консультантов тех, кто принимает решения на основе одного или целого спектра приемлемых решений. Если операционист основное внимание уделяет количественному, а точнее — математическому аспекту выбора решения, то руководитель (вообще — лицо принимающее решение) — также и качественной стороне принятия решения. Окончательное принятие решения выступает как единство качественных и количественных характеристик, т. е. как определенная мера (в философском смысле). Вместе с тем развитие и использование методов исследования операций показывает, что учет данных количественного анализа

повышает обоснованность окончательного принятия решения, которое существенно помогает оптимизировать организационно-управленческие процессы, но отнюдь не исключает из них человека.

Литература

Бир Ст. Кибернетика и управление производством. М., 1965.

Борисов В. И. Исследование операций. Методологические аспекты. М., 1972.

Вагнер Г. Основы исследования операций, т. 1. М., 1972.

Вентцель Е. С. Исследование операций. М., 1972.

Воробьев Н. Н. Развитие науки и теории игр.— В кн.: Исследование операций. Методологические аспекты. М., 1972.

Воробьев Н. Н. Развитие теории игр.— Добавление к книге: *Дж. фон Нейман, О. Моргенштерн.* Теория игр и экономическое поведение. М., 1970.

Гермейер Ю. Б. Методологические и математические основы исследования операций и теории игр, вып. 1. М., 1967.

Гермейер Ю. Б. Введение в теорию исследования операций. М., 1971.

Гермейер Ю. Б. Игры с непротивоположными интересами (теория принятия решений при неполном единстве). М., 1972.

Готт В. С., Урсул А. Д. О категориях определенности и неопределенности.— «Вопросы философии», 1971 (а), № 6.

Готт В. С., Урсул А. Д. Определенность и неопределенность как категории научного познания. М., 1971 (б).

Динер И. Я. Некоторые направления развития исследования операций.— «Морской сборник», 1970, № 1.

Динер И. Я. Районирование множества векторов состояния природы и задача выбора решения.— В кн.: *Исследование операций. Методологические аспекты.* М., 1972.

Квейд Э. Анализ сложных систем. М., 1969.

Лекторский В. А. О субъективном и объективном.— В кн.: Некоторые проблемы диалектики. М., 1973.

Ляпунов А. А. Предисловие к книге: Исследование операций. Методологические аспекты. М., 1972.

Морз Ф. М., Кимбелл Дж. Е. Методы исследования операций. М., 1956.

Смолян Г. Л. Исследование операций — инструмент эффективного управления. М., 1967.

Смолян Г. Л. Методологические вопросы исследования операций (автореф. канд. дисс.) М., 1968.

Тимофеев И. С. Методологическое значение категорий «качество» и «количество». М., 1972.

Украинцев Б. С. Самоуправляемые системы и причинность. М., 1972.

Урсул А. Д. Проблема неопределенности научной информации.— В кн.: Научно-техническая информация, серия 2, № 11. М., 1972.

Фельзенбаум В. Учет неопределенности при экономической оценке вариантов технического развития.— Тезисы докладов научной конференции «Проблемы повышения экономической эффективности научно-технического прогресса». М., 1973.

Чуев Ю. В. (выступление) — В кн.: Исследование операций. Методологические аспекты. М., 1972.

Шанявски К. Информация и решение.— В кн.: Материалы к польско-советскому симпозиуму по проблеме комплексного изучения науки. М., 1967.

De Brogle L. Certitudes et incertitudes de la science. Paris, 1966.

АЛГОРИТМИЧЕСКИЙ ПОДХОД В НАУКЕ И КОНЦЕПЦИЯ РАСПЛЫВЧАТЫХ АЛГОРИТМОВ

Б. В. Бирюков

Проникновение идей и методов кибернетики в естествознание и технику, в науки об обществе и человеке влечет за собой широкое использование алгоритмического подхода. Этот подход, состоящий в применении процедур переработки информации, подчиняющихся четко регламентированным правилам, составляющим детерминистское предписание — алгоритм, не только является рабочим методом в технической и прикладной кибернетике (и предметом исследования в кибернетике теоретической), но и в растущих масштабах производит глубокие изменения во всей методологии наук о природе и обществе. Примечательно, однако, что развитие этого подхода приводит к изменениям в самом смысле понятия «алгоритм».

Ослабления понятия алгоритма

Рассмотрение трансформаций — а именно ослаблений — понятия алгоритма становится ныне одной из интереснейших областей методологической проблематики кибернетики. Дело в том, что одной из задач методологии науки — в частности методологии, основанной на применении логико-кибернетического аппарата,— в естественных науках (например, науках о жизни) и гуманитарных областях (особенно в психологии и педагогике) является использование тех или иных логических и алгоритмических схем и понятий для объяснения определенных сторон поведения (функционирования) и обучения самых различных систем (включая технические системы, человека, коллективы людей, системы типа «человек — автомат» и т. п.).

Прежде всего здесь применимо «классическое» понятие алгоритма как предписания, однозначно детерминирующего процесс переработки информации, ведущий от варьируемых исходных данных к требуемому результату. Это привычное для математики понятие, уточняемое в целой серии «теорий алгоритмов», можно назвать понятием об *абсолютном* алгоритме. Абсолютность здесь состоит в требовании безусловной простоты, элементарности тех операций, которые предусмотрены командами алгоритма, и в том, что порядок применения последних полностью определен начальными данными, поставленными на переработку по данному алгоритму. Такого рода абсолютными алгоритмами являются, например, машинные программы, поскольку они предусматривают при решении каждой индивидуальной задачи (из некоторого класса задач) вполне определенное течение вычислительного процесса, складывающегося из элементарных операций

сложения, арифметического сдвига, инверсии, условного и безусловного переходов и некоторых других.

Однако уже на уровне вычислительной математики происходит «укрупнение операций». Так, запись программы не на машинном языке, а на языке (обобщенного) программирования (АЛГОЛ, КОБОЛ и т. п.) включает в себя целые «блоки» машинных операций (простейшим примером может служить умножение). В случае, когда эти блоки означают обращение к стандартным подпрограммам, предусмотренным математическим обеспечением машины, они очень далеко удаляются от требования «элементарности». Усложнение операций, из которых строится алгоритм, наблюдается не только в машинной математике. В еще большей мере мы находим это явление у человека как «исполнительного устройства» для алгоритмов. В соответствии с этим в работе Б. В. Бирюкова и Л. Н. Ланды [1969] для объяснения того, что можно назвать алгоритмизированным поведением, было использовано идущее от теории алгоритмов понятие *алгоритма сводимости*. Исходя из идеи С. А. Яновской, что смысл «алгоритма сводимости» можно коротко передать тезисом: «Решить задачу — значит свести ее к задачам, принятым за решенные», разработанное в монографии [Ланда Л. Н., 1966] — специально для целей уяснения алгоритмизации в обучении — понятие предписания алгоритмического типа (алгоритмического предписания) трактовалось в упомянутой выше работе как понятие об алгоритме сводимости, выполняемом специфическим исполнительным устройством — человеком.

Естественно, однако, поставить задачу «алгоритмического моделирования» более широкого круга форм «регулярного поведения» («поведения по правилам», «выполнения инструкций» и т. п.), чем формы, непосредственно охватываемые понятием поведения, регулируемого «абсолютными» алгоритмами или предписаниями алгоритмического типа. Данные психологии и кибернетики указывают на то, что имеются градации форм поведения с точки зрения «удельного веса» в них «алгоритмической составляющей». Может быть «абсолютно алгоритмическое» поведение, может быть поведение, *алгоритмическое в той или иной степени, но может быть и* поведение, полностью неалгоритмическое,— такое, что его невозможно понять как регулируемое какими-то правилами или описать в терминах, хоть как-то приближающихся к алгоритмическим. Так, поведение машины, решающей задачу вычислительного характера, или человека, осуществляющего действия по жесткой алгоритмической схеме, подобной, скажем, схеме «машины Поста», подробно разобранной В. А. Успенским [1967, 1967а, 1967б, 1967в], абсолютно алгоритмично. Менее алгоритмично поведение ученика, решающего задачу по «алгоритмическому предписанию» в смысле Л. Н. Ланды, поскольку успешность такого рода поведения существенно зависит от умения ученика выполнять те элементарные операции (а они могут быть и не такими уж

простыми), которые предусмотрены данным алгоритмическим предписанием. Еще больше от идеала алгоритмичности будет отклоняться поведение, регулируемое предписанием, содержащим команды, допускающие акты свободного выбора[1] в случае человека, скажем,— «Пойди в магазин и купи *какой-нибудь* провизии на ужин») или случайный выбор шага («бросание монеты» и машинные эквиваленты этой процедуры). При этом очевидно, что возможны и предписания, которые фактически ничего не предписывают, и тогда поведение, которое ими инициировано, полностью неалгоритмично. Таким является, например, «предписание»: «Прежде чем приступить к решению задачи, вдумайся в ее условия» (такого рода рекомендации нередко даются учащимся).

Как же возможно в точных терминах представить градацию алгоритмичности поведения? Это можно сделать, использовав иерархию следующих понятий: «(абсолютный) алгоритм», «алгоритм сводимости» (в случае человека: «предписание алгоритмического типа»), «алгоритм с выбором шагов» («недетерминистский алгоритм», «вероятностный алгоритм»), «расплывчатый алгоритм».

Понятия «(абсолютного) алгоритма» и «алгоритма сводимости» кратко пояснены выше. Их отношение к предписаниям алгоритмического типа рассмотрено в статье Б. В. Бирюкова и Л. Н. Ланды [1969]. Поэтому ниже мы остановимся на понятии «алгоритма с выбором шагов» и затем сосредоточим внимание на введенном Л. Заде понятии «расплывчатого алгоритма».

«Недетерминистский алгоритм», «алгоритм с выбором шагов» — эти выражения представляют собой, коль скоро иметь в виду классическое понятие алгоритма, contradictio in adjecto. Классический (абсолютный) алгоритм не может допускать в ы б о р а какого-то шага (или случайного перехода к какому-либо шагу),— это запрещено требованием точности предписания, не оставляющей места произволу [Марков А. А., 1954, с. 3]. Ситуация выбора, однако, типична для поведения — не только человека, но и животных (во всяком случае, животных, обладающих развитой нервной системой). Практически такого рода ситуации вовсе не противоречат «алгоритмичности» поведения,— вполне возможно их наличие в поведении, в общем алгоритмическом. Реальная практика науки заставляет, поэтому, не обращать внимание на это contradictio in adjecto.

В случае «машинных» алгоритмов введение актов случайного выбора можно совместить с концепцией «абсолютного алгоритма» путем следующего приема: вместо случайного перехода от некоторой операции к каким-то операциям (перехода, на который обычно накладываются определенные ограничения, например, в форме некоторого вероятностного распределения) ввести в число

[1] Под «свободным выбором» при этом понимается выбор, не регламентированный какими-либо правилами, т. е. выбор на основе «принятия решения», мотивы и обстоятельства которого не принимаются в расчет.

самих операций алгоритма «запуск» некоторого случайного процесса (например, «запуск» датчика случайных чисел). В этом случае *процедура поведения — переход от одного шага алгоритма к другому* — будет вполне детерминистской, «точной». «Недетерминистичность», «неточность» будет «засунута» в одну (или более) операций алгоритма.

Неточность, таким образом, вводится с помощью численно оцениваемой случайности — вероятности. Этот подход принимает четкие формы в теории автоматов — теории, на которую можно смотреть как на своего рода спецификацию, конкретизацию «общей» теории алгоритмов. В теории автоматов помимо детерминированных автоматов — т. е. автоматов, в которых состояние $a(t-1)$ в некоторый непосредственно предшествующий данному момент времени $t-1$ и входной сигнал $x(t)$ в данный момент времени t однозначно определяют очередное, в момент t, состояние $a(t)$ автомата,— рассматриваются и автоматы со случайными переходами [см., например: Глушков В. М., 1964, § 4]. В автомате со случайными переходами непосредственно предыдущее состояние и текущий входной сигнал определяют лишь вероятности $p_{ij}(x)$ перехода автомата *из состояния* $a_i(t-1)$ *в каждое другое возможное* состояние $a_j(t)$. При этом детерминированный автомат «можно рассматривать как частный случай автомата со случайными переходами, у которого для каждого x при любом данном i лишь одна из вероятностей $p_{ij}(x)$ равна единице, а все остальные вероятности равны нулю» [Глушков В. М., 1964, с. 166].

Этот подход — подход, при котором «неточности», «неопределенности» интерпретируются через вероятности, действовать с которыми можно вполне алгоритмически,— не совсем проходит в случае человека. Решение, которое принимает человек в ситуации выбора между некоторыми «объективно» совершенно «равноправными» (равнозначными, равносильными) возможностями, на деле не бывает чисто случайным. Можно полагать, что человек в принципе не может вести себя подобно датчику случайных чисел.

На это можно возразить, что человек в данном отношении не очень отличается от иных устройств, функционирующих в роли таких датчиков. Известно, что любое технически реализуемое устройство выдачи случайных чисел будет функционировать в роли такого датчика лишь приближенно. Идеальный датчик случайных чисел есть поэтому лишь абстракция. Однако в случае технических устройств возможны меры, которые достаточно *приближают такого рода реальный датчик к идеальному*[2]. *Это*, повидимому, неосуществимо, когда решения принимает человек.

[2] Мы не останавливаемся здесь на некоторых тонких вопросах, связанных с различием между детерминированным и случайным. Эти две противоположности, так сказать, проникают друг в друга. Например, вполне детерминированный процесс может порождать чисто случайную последовательность чисел. Таковым, например, является процесс вычисления знаков десятичного представления числа π со все большей точностью. В резуль-

Возникает естественная идея о трактовке «недетерминистских» алгоритмов, выполняемых человеком, без использования ссылок на случайность или вероятность (частоту), непосредственно в терминах «произвольного выбора» из фиксированного набора альтернатив. Суть «недетерминистского алгоритма» мы поясним на примере.

Рассмотрим хорошо известный из школьного курса математики «алгоритм Эвклида» нахождения наибольшего общего делителя двух целых положительных чисел. Одна из возможных форм этого алгоритма в виде блок-схемы представлена на рис. 1а (алгоритм A_1). Действия, предусмотренные в блоках 1, 3 и 7, суть действия по проверке логических условий, т. е. действия, состоящие, соответственно, в ответе на вопросы: «Равно ли первое число второму числу?» («Пч=Вч?»). «Больше ли первое число второго числа?» («Пч>Вч?»), «Равно ли второе число нулю?» («Вч=0?»); действие, предусмотренное блоком 4,— «главная» операция алгоритма, состоящая в делении первого числа на второе и определении остатка от деления [3].

Очевидно, что этот алгоритм — вполне детерминистский: для любых двух целых положительных чисел (взятых в данном порядке [4]) путь переработки их в результат — в их наибольший общий делитель — однозначно определен. Алгоритм A_1 превратится в недетерминистский алгоритм, если после проверки логического условия «Пч = Вч?» и получения ответа «Нет» предусмотреть переход к проверке как логического условия «Пч>Вч?», так и логического условия «Пч<Вч?»,— в зависимости от «произвола»

тате этого процесса возникает статистически случайная последовательность цифр (от 0 до 9). «До сих пор π благополучно выдерживало все статистические испытания на случайность,— пишет известный популяризатор науки М. Гарднер.— Это кажется непонятным тем, кто полагает, что у столь простой и изящной кривой, как окружность, должно было бы быть менее дикое отношение между «обхватом» и поперечником, но большинство математиков твердо уверены в том, что среди цифр десятичного разложения π никогда не будет обнаружено никакого порядка. Разумеется, эти числа не случайны в том смысле, что они определяют число π, но в этом же смысле не случаен и миллион «случайных» цифр в таблицах так называемых «случайных чисел». Они также представляют некоторое число, к тому же целое» [Гарднер М., 1971, с. 426—427].

[3] Блок 0 содержит операцию засылки исходных данных, т. е. операцию придания одному из рассматриваемых чисел звания «первое число» (Пч), а другому — «второе число» (Вч). Блоки 1, 3 и 7 — блоки проверок логических условий — предписывают получение ответов на соответствующие вопросы (ответов «да» или «нет»), каждый из которых определяет дальнейший ход работы алгоритма. В алгоритме имеются две операции переименования: первого числа во второе, а второго в первое (блок 5) и второго числа в первое, а остатка от деления — во второе число (блок 6). В блоке 2 записана операция по извлечению результата — объявления числа наибольшим общим делителем чисел, служивших исходными данными алгоритмического процесса.

[4] Впрочем, уже этот выбор порядка, т. е. способа наделения чисел из пары чисел званиями «Пч» и «Вч».— а таких способов может быть два — вносит и в данный детерминистский алгоритм некоторую неопределенность.

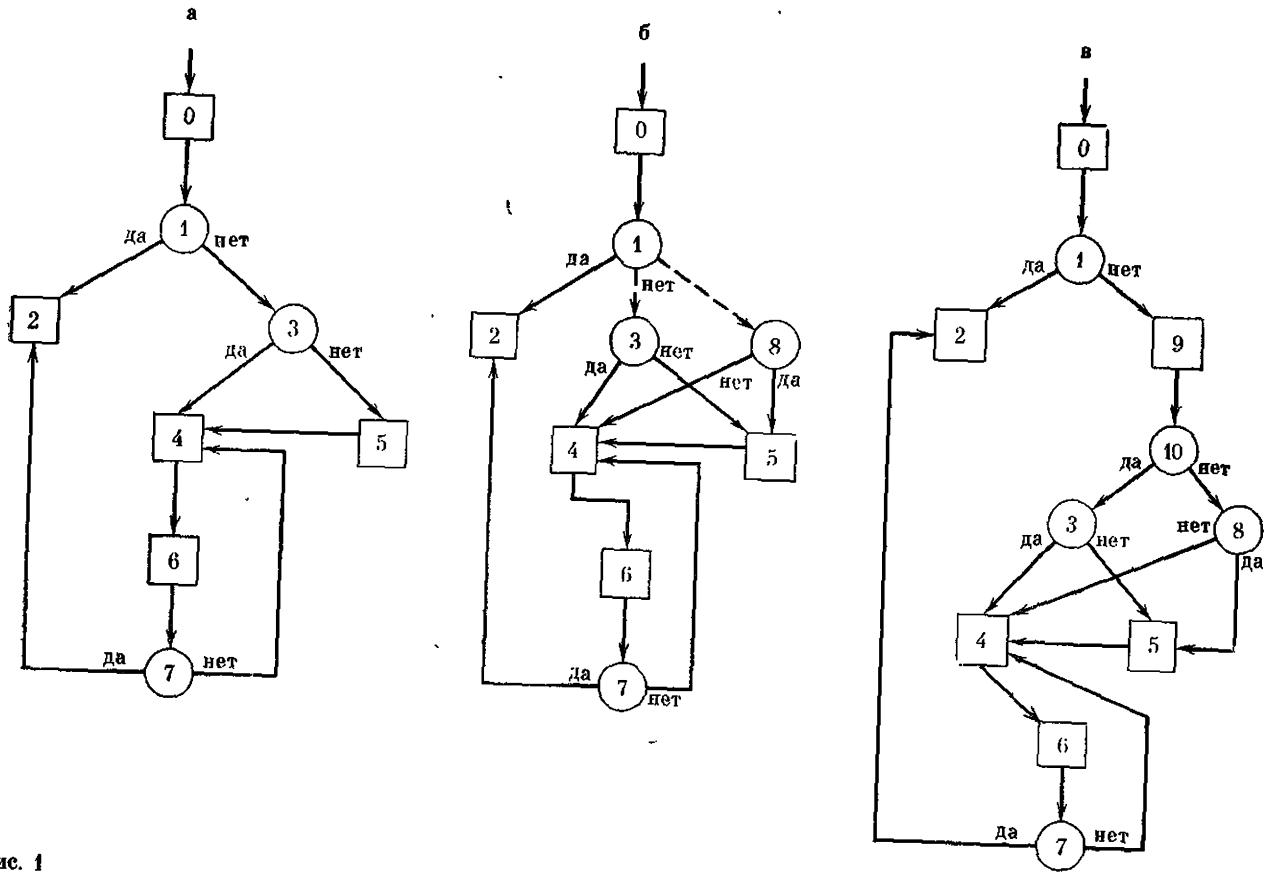

а
0
1
да
нет
2
3
да
нет
4
5
6
7
да
нет
б
0
1
да
нет
2
3
нет
8
да
нет
да
4
5
6
7
да
нет
в
0
1
да
нет
2
9
10
да
нет
3
да
нет
нет
8
да
4
5
6
7
да
нет

Рис. 1

устройства, выполняющего алгоритм. Такое изменение предписания приводит к блок-схеме, представленной на рис. 1б (алгоритм A_2) [5].

Заметим, что недетерминистский алгоритм A_2 вполне соответствует практике человеческого мышления. Более того, является естественным — даже более естественным! — недетерминистский алгоритм Эвклида, в котором предусмотрены даже все четыре возможные альтернативы: Пч > Вч?, Пч < Вч?, Вч > Пч?, Вч < Пч?. «Алгоритмичность» процесса не страдает от этой неоднозначности, а память освобождается от запоминания детерминистского перехода, сохраняя только информацию о возможных альтернативах.

Известно, что в общем случае алгоритм состоит из операций (на наших блок-схемах они обозначались квадратиками) и логических условий (кружочки на блок-схемах). В рассмотренном примере недетерминистский переход имел место от логического условия к логическим условиям. Это не единственный тип такого перехода. Возможны недетерминистские переходы от логического условия к операциям, от операции к логическим условиям, от операции к операциям и др. При этом альтернативы каждого неоднозначного перехода должны быть заданы в явной форме.

Случай, когда в недетерминистских алгоритмах имеет место выбор альтернатив из некоторого конечного (причем, как в нашем примере, небольшого по числу членов) множества, — наиболее простой. Возможны, однако, недетерминистские алгоритмы с выборами из бесконечного множества альтернатив. Для иллюстрации этого воспользуемся видоизмененным примером Заде [Zade L. A., 1968]: (а) «Выбрать y из интервала [9,9; 10, 1], если x лежит в интервале [4,9; 5,1]; в противном случае положить y равным x».

В каком же смысле в случае недетерминистских алгоритмов можно говорить о сохранении «алгоритмичности» вычислительной процедуры? Очевидно, что различные варианты вычислительного процесса, которые при недетерминистском алгоритме в общем случае возможны для каждых исходных данных, должны вести к результатам, относительно которых имеется некоторое правило их отождествления (так что если в работе алгоритма произошла остановка, всегда можно было бы решить, результативна ли она). В простейшем случае — как в алгоритме A_2 — это может быть просто один и тот же результат. Более сложен случай с примером алгоритма Л. Заде (а), где отождествление результатов происходит по правилу $y \in [9{,}9;\ 10{,}1]$. Собственно говоря, недетерминистский алгоритм — это некоторая совокупность двух или более (или даже «бесконечного числа») детерминистских алгоритмов. Например,

[5] На этой блок-схеме блоки 0—7 имеют прежний смысл, блок 8 содержит логическое условие, выражающее вопрос «Пч<Вч?». В случае отрицательного («нет») ответа на вопрос, содержащийся в блоке 1, возможен недетерминистский переход: выполнение как логического условия 3, так и логического условия 8 (показано пунктирными стрелками). На этом участке схемы алгоритма A_2 исполнительное устройство может проявлять «свободу воли».

алгоритм A_2 представляет собой «совокупность», «соединение» алгоритма A_1 с алгоритмом A_3, который получается из алгоритма A_2 вычеркиванием блока 3 (и соответствующих путей в блок-схеме). Каждый реализованный (для каких-то исходных данных) алгоритмический процесс по алгоритму A_2 таков, что его можно рассматривать как произошедший в соответствии либо с алгоритмом A_1, либо с алгоритмом A_3.

Человек как устройство, выполняющее алгоритмически заданные процедуры, может пользоваться недетерминистскими алгоритмами потому, что, обладая психикой (и, в частности, волей), он может совершать акты свободного (т. е. не предписанного «извне») выбора, и альтернативы в этом выборе — при всем их «равноправии» в алгоритме, — по-видимому, для человека не равновероятны. Вообще, экспериментальные психологические исследования [см., например, Хованов Г. М., 1969] говорят в пользу того, что «проблема выбора альтернатив с заданными вероятностями для человека практически неосуществима: при отсутствии случайного механизма, с помощью которого он мог бы получать эти вероятности, для него оказывается невозможной их реализация» [Поспелов Д. А., Ситар П., 1969, с. 201]. Например, в эксперименте, описанном в только что упомянутой работе, человек был поставлен в ситуацию, когда ему надлежало делать выбор одной из двух альтернатив на протяжении длительного периода (это была игра человека против машины в угадывание стороны монеты). Хотя оптимальной стратегией для игроков была игра при равновероятном выборе одного из двух имеющихся у игрока ходов — и испытуемым это было известно, — они играли против автомата так, что их выбор образовывал почти периодические последовательности (с периодом пять или шесть).

Таким образом, человек не может, по-видимому (во всяком случае, не используя какой-либо вспомогательный аппарат), «имитировать» генератор случайных чисел. С другой стороны, машинные аналоги человеческих актов «свободного выбора» — на современном этапе науки, по крайней мере,— не могут, как кажется, обходиться без оперирования с вероятностями. Во всяком случае, машинная реализация недетерминистских алгоритмов типа рассмотренных выше естественно получается с использованием машинного «генератора случайности». В случае приведенного выше недетерминистского алгоритма это выглядит примерно так (см. рис. 1в; алгоритм A_4). В целях машинной реализации алгоритма A_2 недетерминистский переход (пунктирные стрелки на рис. 1б) заменен здесь участком схемы, включающем два новых блока; блок 9 является блоком генератора случайных чисел, блок 10 — блоком проверки четности генерированного в блоке 9 натурального числа (блоком проверки логического условия «n четно?»).

Очевидно, что алгоритм A_4 внешне детерминистский: в нем нет никаких случайных переходов от блока к блоку; случайность, как мы уже имели случай говорить, «засунута» здесь в операцию,

предусмотренную блоком 9. Тем не менее это по сути алгоритм со случайным выбором шагов. Алгоритм, в котором ветвление его схемы (хотя бы на некоторых участках) зависит от вероятностей, порождаемых на каком-либо шаге его применения (в некотором блоке алгоритма), либо *иным способом* заданных в предписании, естественно назвать вероятностным.

A priori очевидно, что «мера» этой вероятностности конкретных алгоритмов может быть различной. Разные ступени вероятности хорошо просматриваются в теории автоматов. Помимо упоминавшихся выше автоматов со случайными переходами в ней изучаются и «так называемые случайные автоматы, у которых случайна не только функция переходов, но и выбор начального состояния, а если к тому же к рассмотрению привлекается выходной сигнал, то случайной должна быть, вообще говоря, и функция выходов. Иначе говоря, функция выходов должна задавать не просто выходной сигнал, а некоторое распределение вероятностей на множестве всех возможных выходных сигналов» [Глушков В. М., 1964, с. 167].

Таким образом, в случае «нечеловеческих» устройств реализации алгоритмов («нечеловеческих» автоматов) недетерминистичность сводится к использованию вероятностных представлений и методов. Возникает вопрос, можно ли развить круг идей, в котором недетерминистичность в алгоритмических («в целом») процедурах уточнялась бы в рамках иной — не менее строгой, чем теория вероятностей, — теории, которая, однако, была лучше, чем последняя, способна выражать специфически человеческие феномены неопределенности, неточности и «свободного выбора». Как показывают некоторые новейшие линии развития теории алгоритмов и ее приложений, на этот вопрос следует дать положительный ответ. Мы имеем в виду, в частности, исследования Л. Заде и его учеников. В серии работ [Zadeh L. A., 1965; Заде Л. А., 1966; Zadeh L. A., 1968; 1971], опубликованных, начиная с 1965 года, Л. А. Заде развил теорию нечетких (расплывчатых, размытых — fuzzy) множеств и основанную на ней теорию нечетких, расплывчатых алгоритмов.

Нечеткие понятия и расплывчатые алгоритмы

Приведем начало статьи Л. А. Заде [1966], в которой весьма четко охарактеризована суть предлагаемого подхода. «В теории информации, как *во многих* других областях науки, неточность и неопределенность обычно вводятся с помощью понятий и методов теории вероятностей. Подчеркивание роли теории вероятностей при изучении этих вопросов затемняет то, что во многих ситуациях источником неточности является вовсе не наличие каких-то случайных величин, а появление в рассматриваемой задаче какого-то класса или классов, не имеющих строго определенных границ. В качестве примера класса такого рода можно привести «класс» всех действительных чисел, намного превосходящих 10, который, очевидно, не является точно заданным множеством. То же самое можно

сказать о «классе» рукописных изображений буквы А, «классе» умных людей, «классе» систем, приблизительно эквивалентных некоторой заданной системе и т. д. На самом деле, тщательный анализ показывает, что большинство классов объектов, с которыми приходится сталкиваться в реальном мире, являются классами именно такого нечеткого типа, т. е. классами, которые определены неточно. В этих случаях элемент может принадлежать или не принадлежать классу, но, кроме того, возможными являются также и промежуточные градации принадлежности; поэтому для описания степени принадлежности элемента классу здесь необходимо использовать многозначную логику — возможно даже с континуальным множеством значений истинности» [Заде Л. А., 1966, с. 37].

Теория алгоритмов, основанная на понятии «расплывчатого множества», естественным образом обнаруживает свою перспективность для уяснения логической природы многих рассматриваемых и применяемых в эмпирических науках, в приложениях кибернетики, в психологии и педагогике недетерминистских предписаний, так как «расплывчатый алгоритм» представляет собой, по-видимому, крайнюю — с точки зрения «неалгоритмичности» — форму тех градаций алгоритмичности, на противоположном полюсе которой находятся абсолютные детерминистские алгоритмы.

Свою концепцию «расплывчатого алгоритма» Л. Заде рассматривает как попытку указать возможный путь для полноправного введения в научный обиход некоторых типов неоднозначных предписаний. Эти предписания он формализует с помощью понятия *расплывчатого алгоритма*, покоящегося, в свою очередь, на развитой автором концепции расплывчатых множеств.

Л. А. Заде оперирует следующими примерами расплывчатых предписаний: (б) «Положить *y приблизительно равным* 10, если *x приблизительно равно* 5»; (в) «Если *x велико*, увеличить *y* на *несколько единиц*; если *x мало*, уменьшить *y* на *несколько единиц*; в противном случае оставить *y* без изменения».

В этих предписаниях источник неоднозначности заключен в неопределенности, расплывчатости множеств (являющихся «подмножествами» множества R действительных чисел) чисел, «приблизительно равных 10», «приблизительно равных 5», «больших» и «маленьких» чисел, множества из «нескольких единиц». Чтобы как-то устранить связанную с ними неоднозначность, Заде предлагает использовать некий вариант многозначной (в общем случае — бесконечнозначной) логики. Основным понятием здесь является понятие о функции членства, с помощью которой задается расплывчатое множество. Функция членства определена на элементах некоторой совокупности и служит для выделения в ней соответствующего нечеткого класса путем отнесения каждому из элементов некоторого числа из интервала [0, 1], характеризующего «степень принадлежности элемента совокупности задаваемому нечеткому классу». Чем ближе значение функции членства к единице, тем больше степень принадлежности элемента

к рассматриваемому нечеткому классу; наоборот, чем меньше это значение, тем меньше степень принадлежности.

Пусть, например, $A_{\text{распл}}$ — нечеткое множество «чисел, приблизительно равных 5» (выделяемых из области всех действительных чисел). Заметим сразу же — и будем этого в дальнейшем придерживаться,— что вместо нечеткого множества можно (что не менее естественно) говорить о нечетком свойстве (нечетком понятии о свойстве, или о понятии о нечетком свойстве) и, более общее, о нечетких предикатах (свойствах и отношениях). Если $A_{\text{распл}}$ — нечеткий класс, то ему соответствует нечеткий предикат $A_{\text{распл}}(x)$ [6]. Обозначив, вслед за Заде, функцию членства через μ, мы будем иметь (*) $\mu A_{\text{распл}}(x) \underset{Df}{=} x \in A_{\text{распл}}$, причем выражение $x \in A_{\text{распл}}$ является выражением многозначной либо бесконечнозначной логики — выражением, принимающим *какие-то* значения из интервала [0,1] рациональных или действительных чисел или же *все* значения из этого интервала. Если бы эти значения были *только* значениями 0 («ложь») и 1 («истина»), то наш предикат (множество) обратился бы в обычный предикат (обычное «жесткое» множество),— предикат двузначной логики.

В записи (*) предполагалось, что $A_{\text{распл}}$ — расплывчатое множество (и, соответственно, $A_{\text{распл}}(x)$ — расплывчатый одноместный предикат). Однако этого можно и не предполагать, записывая $\mu A(x) = x \in A$ и предполагая, что A может быть как нечетким, так и четким множеством (соответственно, $A(x)$ — как двузначным, принимающим значения из множества {0, 1}, так и многозначным или бесконечнозначным — допускающим какие-то либо все значения от 0 до 1 — предикатом). Каким на самом деле является A — это определяется видом функции μ, которая должна быть задана. По функции μ видно, с каким предикатом (множеством) мы имеем дело — подчиняющимся обычной («жесткой», двузначной) логике или требующим многозначной или бесконечнозначной («расплывчатой») логики.

Заде сформулировал основные понятия теории нечетких множеств, определив, в частности, отношения равенства и включения двух нечетких множеств, а также операции дополнения нечеткого множества, объединения и пересечения двух нечетких множеств. Например, операция объединения множества $A_{\text{распл}}$ и $B_{\text{распл}}$ определяется как порождение такого множества $(A \cup B)_{\text{распл}}$, которое является минимальным среди всех расплывчатых множеств, содержащих в себе как $A_{\text{распл}}$, так и $B_{\text{распл}}$. Это определение — обобщение известного определения операции объединения обыч-

[6] Нечеткое множество (нечеткий класс) можно назвать объемом нечеткого понятия. В каком смысле данное понятие является обобщением понятия объема «жесткого» одноместного предиката — это зависит от того, как производится уточнение логики, связываемой с нечеткими множествами.

ных классов как взятия их точной верхней грани: функция членства множества $(A \cup B)_{\text{распл}}$ имеет вид: $\mu(A \cup B)\ (x) = \max[\mu A(x), \mu B(x)]$ (мы опустили обозначение «распл» при A и B). Например, если $\mu A(x)$ и $\mu B(x)$ принимают для некоторого x значения, соответственно, 0,5 и 0,7, то $\mu(A \cup B)\ (x)$ примет для этого x значение 0,7

Аналогично, операция пересечения двух нечетких множеств определяется как взятие их точной нижней грани. Дополнение $A'_{\text{распл}}$ к нечеткому множеству $A_{\text{распл}}$ определяется как такое множество, функция принадлежности к которому $\mu A'_{\text{распл}} = 1 - \mu A_{\text{распл}}(x)$.

Эти определения, а также определение включения одного расплывчатого множества в другое ($A \subset B$ тогда, и только тогда, когда для любого x $\mu A(x) \leqslant \mu B(x)$, где $A(x)$, $B(x)$ — нечеткие предикаты с объемами, соответственно, A и B), определяют характер логики расплывчатых понятий. Эту логику можно, впрочем, уточнять по-разному. Можно, вслед за Заде (Zadeh L. A., 1965, p. 342) исходить из той идеи, что для любого расплывчатого класса A естественно различать ситуации, когда имеет силу высказывание $x \in A$ («x принадлежит A»), когда имеет силу высказывание $x \notin A$ («x не принадлежит A») и когда не имеет силы ни то, ни другое высказывание. Тогда можно принять, что: $x \in A$, если $\mu A(x) \geqslant \alpha$ (случай *i*); $x \notin A$, если $\mu A\ (x) \leqslant \beta$ (случай *ii*); и отношение x к A не определено, если $\beta < \mu A(x)$ и $\mu A(x) < \alpha$ (здесь α и β — действительные числа; $0 < \alpha < 1$; $0 < \beta < 1$; $\beta < \alpha$) (случай *iii*).

Этим определениям соответствует известная трехзначная логика Я. Лукасевича [1920] — исторически первая система многозначной логики, в которой кроме «истины» (1) и «лжи» (0) в качестве истинностного значения использовалась «неопределенность» ($^1/_2$). (Сам Заде ссылается не на Лукасевича, а на С. К. Клини — на трехзначную логику, использованную этим автором в работе 1938 г.; эта логика изложена также в книге [С. К. Клини, 1957]; как известно, однако, она совпадает с логикой Лукасевича). А именно, можно принять, что высказывание вида $x \in A_{\text{распл}}$ принимает значение «истина», если для него имеет место случай *i*, «ложь» — если случай *ii*, «неопределенность»,— если случай *iii*, считая, как обычно, выделенным значением истинность. Впрочем, в роли логики высказываний, кладущейся в основу логики расплывчатых понятий, можно использовать и другие пропозициональные построения, в частности, в бесконечнозначной логике. Последнее решение более соответствует духу концепции расплывчатого множества. Подходить здесь можно по-разному. Так, в качестве значений истинности можно взять все действительные числа от 0 до 1, за исключением числа $^1/_2$; выделенными значениями считать числа, большие, чем $^1/_2$; операции конъюнкции, дизъюнкции и отрицания определить, в соответствии с теорией нечетких классов Заде, как: $a \& b = \min(a, b)$, $a \vee b = \max(a, b)$, $\neg a = 1 - a$ (здесь a, b — про-

извольные высказывания, представленные своими истинностными значениями). Нетрудно показать, что в этом случае мы получим бесконечнозначную логику, правила которой полностью повторяют правила классической двузначной логики (если строить последнюю, скажем, как исчисление естественного вывода).

Последнее обстоятельство весьма примечательно. Получается, что правила обращения с нечеткими понятиями могут быть такими же, как и с четкими. В этом, по-видимому, следует видеть объяснение того, что в логике не было потребности особо исследовать нечеткие понятия; задача их изучения пришла из кибернетики,— и это несмотря на то, что в логике был фактически разработан потребный для этого аппарат.

В самом деле, с логической точки зрения исходный пункт теории Заде вряд ли можно считать вносящими принципиально новое. Во всяком случае, его теория расплывчатых классов может быть погружена в булеву алгебру. В известном руководстве П. С. Новикова по математической логике [Новиков П. С., 1959, с. 47] мы находим интерпретацию булевой алгебры, весьма напоминающую построение Заде.

Вообще, в теории многозначных и бесконечнозначных логик как логик со значениями в топологическом пространстве [см.: Кейслер Г. Дж, Чан Чень-чунь, 1971] мы находим богатый арсенал логических средств выражения «расплывчатости» и «неопределенности». В чем же тогда интерес построения Заде? В том, что в нем «логика расплывчатости» была поставлена в четкую связь с проблемой абстракции и с теорией алгоритмов. Последнее обстоятельство нас здесь и интересует.

Вернемся к примерам расплывчатых предписаний, которыми оперирует Заде. С логической точки зрения они не являются ни высказываниями, ни формами высказываний. Это — повелительные предложения, точнее, формы повелительных предложений[7].

Рассмотрим предложение (б). В нем фигурируют два расплывчатых множества: множество «чисел, приблизительно равных 5» ($A^{\circ}_{\text{распл}}$), и множество «чисел, приблизительно равных 10» ($B^{\circ}_{\text{распл}}$). Предложение это можно представить в виде: (б′) «Если $x \in A^{\circ}_{\text{распл}}$, то **надлежит выбрать** объект $y \in B^{\circ}_{\text{распл}}$». Каждое **применение** этого предписания порождает пару значений $\langle x, y\rangle$. Множество всех таких пар (в нашем случае бесконечное) можно отождествить с некоторым бинарным отношением $C^{\circ}(x, y)$, определенным на прямом произведении $R \times R$; множество это — расплывчатое ($C^{\circ}_{\text{распл}}$) и как таковое характеризуется уже двуместной функцией членства $\mu C^{\circ}(x, y)$:

$$\mu C^{\circ}\langle x, y\rangle = \langle x, y\rangle \in C^{\circ}_{\text{распл}},$$

[7] Здесь «форма повелительного предложения» рассматривается по аналогии с хорошо известным в логике понятием «формы высказывания».

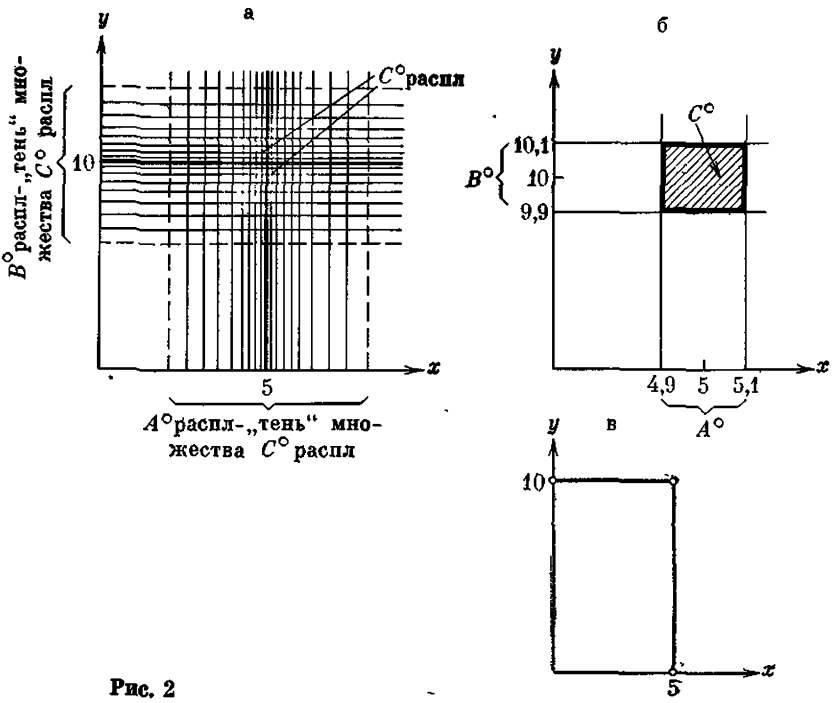


Рис. 2

где $\langle x, y\rangle \in C^\circ_{\text{распл}}$ есть выражение многозначной или бесконечнозначной логики. Множества $A^\circ_{\text{распл}}$ и $B^\circ_{\text{распл}}$, являющиеся проекциями множества $C^\circ_{\text{распл}}$ на, соответственно, оси x и y (рис. 2а), Заде называет «тенями» расплывчатого множества пар $C^\circ_{\text{распл}}$.

Расплывчатость предписания (б) явственно обнаруживается при сравнении его со сходным по содержанию предписанием (а), сделанным в недетерминистской форме: «Если $x \in [4{,}9; 5{,}1]$, то положить y равным *какому-нибудь* числу из интервала [9,9; 10,1]». Здесь нахождение x в интервале [4,9; 5,1] и выбор y из интервала [9,9; 10,1] никак не оцениваются. Оба интервала (назовем их, соответственно, A° и B°) — обычные множества, являющиеся проекциями своего прямого произведения C° на оси x и y соответственно (рис. 2б) [8]. Еще более проста подобная «картинка» (см. рис. 2в) в случае детерминистского предписания: «Положить y равным 10, если x равно 5».

Мы очертили только главные контуры теории расплывчатых множеств и алгоритмов. Но и сказанного достаточно для заключе-

[8] Множество C° — множество пар $\langle x, y\rangle$, возникающих в результате всех возможных недетерминистских выборов y для каждого x при применении данного предписания.

ния, что строгость теории нечетких алгоритмов находится на уровне строгости хорошо известных «классических» теорий (детерминистских) алгоритмов. Уже в статье 1965 г. [Zadeh L. A., 1965] Заде показал, что концепция расплывчатых алгоритмов может быть естественным образом сформулирована в терминах «расплывчатой машины Тьюринга» (показан принципиальный путь перехода от обычной машины Тьюринга к «недетерминистской машине Тьюринга» и от нее к «расплывчатой машине Тьюринга»). Развивая идеи Заде, Е. Сантос детально рассмотрел как нечеткие машины Тьюринга, так и нечеткие нормальные алгорифмы и показал, что эти два определения нечетких алгоритмов эквиваленты в некотором смысле [Santos E. S., 1970].

Формализация нечетких предписаний и «человеческий фактор»

Обратимся теперь к некоторым психолого-гносеологическим аспектам того, каким образом понятие нечеткого множества служит для формализации расплывчатых предписаний.

Связь построения Заде с «человеческим фактором» можно видеть в попытке исключения, в определенном смысле, *неконструктивности*, свойственной расплывчатым предписаниям. Исключение это начинается с того, что под интуицию «степени принадлежности» объекта данному расплывчатому классу подводится база строгой теории. На «функцию членства» в нечетком множестве можно смотреть как на формализацию распознавания объектов человеком с разной степенью уверенности: функция $\mu A(x)$ — это, в субъективном плане, «мера уверенности» в том, что $x \in A$, оцениваемая субъектом «степень добротности» членства $x \in A$. На место «жесткого» распознавания — различения или отождествления — объектов (как это имеет место в случае конструктивных объектов — предметов, свойств и отношений) ставится распознавание элементов как членов множеств, сущностей, так сказать, частично конструктивных. Аналогично, смысл функции вида $\mu C(x, y)$ — т. е. $\langle x, y \rangle \in C_{\text{распл}}$ (см. пример такой функции на с. 272—273) — можно видеть в оценке «меры уверенности» или «меры надежности» действия по нечеткому предписанию. Эта мера зависит от «меры надежности», с которой x рассматривается в качестве члена $A_{\text{распл}}$, и от «меры надежности» выбора элемента y из множества $B_{\text{распл}}$: $\mu C(x, y)$ — это средство количественной характеристики «степени детерминистичности» расплывчатого предписания.

Как, однако, можно представить себе применение «расплывчатых алгоритмов» в реальных актах поведения? Здесь требуется дальнейшее развитие теории. Ведь само по себе задание количественной характеристики расплывчатого предписания — через указание функции (функций) принадлежности к соответствующему нечеткому множеству (множествам) еще не проливает свет

на то, как надлежит выполнять данное предписание (как, тем более, неясным является и, в определенном смысле, крайний частный случай расплывчатого предписания — недетерминистское предписание типа «Выбрать x из множества A»). Анализируя эту ситуацию, Заде рассматривает в качестве примера нечеткое предписание (г) «Продвинуться вперед на несколько шагов (и остановиться)». Пусть функция принадлежности для множества D° («несколько шагов») задается следующей таблицей (табл. 1, столбцы 1, 2).

Таблица 1

1	2	3	4
число шагов (x)	$\mu D^\circ(x)$	$\mu' D^\circ_{(0,8)}(x)$	$\mu'' D^\circ_{(1)}(x)$
...	...	...	...
$\leqslant 3$	0	0	0
4	0,8	0,8	0
5	1,0	1,0	1,0
6	1,0	1,0	1,0
7	1,0	1,0	1,0
8	0,7	0	0
$\geqslant 9$	0	0	0
...	...	...	...

К какому способу действия, спрашивает Заде, было бы разумно прибегнуть, получив предписание (г)? Отвечая на этот вопрос, он рассматривает два способа «интуитивно приемлемых» вариантов поведения. Первый способ можно назвать в определенном смысле вероятностным: число шагов выбирается в соответствии с распределением вероятностей, как-то зависящим от функции членства $\mu D^\circ(x)$. Второй способ — «пороговый», основанный на введении (как-то связанного с функцией μ) порога членства в данном нечетком множестве.

Рассмотрим более подробно первый способ. Самым простым здесь будет случай, когда вероятности выбора субъектом числа шагов пропорциональны значениям функции μ.

Обозначим вероятность того, что x шагов получат право именоваться «несколькими шагами», через $p(x)$. Поскольку сумма значений, которые может принимать функция $\mu D^\circ(x)$: $\sum_{i=3}^{9} \mu D^\circ(x_i) = 0{,}8+1+1+1+0{,}7=4{,}5$ (здесь случаи, когда число шагов $x \leqslant 3$ и $\geqslant 9$, во внимание не принимаются, так как оценка принадлежности их к $D^0_{\text{распл}}$ равна 0), мы получаем:

$$p(4) = \frac{0,8}{4,5} \approx 0,178;\ p(5) = p(6) = p(7) = \frac{1}{4,5} \approx 0,222;$$

$$p(8) = \frac{0,7}{4,5} \approx 0,156.$$

Прежде чем пояснять применение этих выкладок к анализу возможного поведения субъекта, которому дано расплывчатое предписание (г), заметим, что поведение, определяемое такого рода нечеткими предписаниями, оказывается связанным с принятиями решений в ситуациях выбора. В этом плане — в плане принятия решения — между различными типами алгоритмов, рассматриваемыми в этой статье, пролегает четкая грань.

В случае поведения, регулируемого детерминистским алгоритмом («абсолютным» алгоритмом или алгоритмом сводимости, все равно) ситуации выбора не существует: поведение полностью определено во всех деталях. В случае недетерминистских алгоритмов ситуации выбора существуют, но нет правил выбора решения. Для «алгоритмического поведения» же, регулируемого расплывчатыми алгоритмами, не только существуют ситуации выбора, но могут быть указаны правила принятия решения в таких ситуациях. С этой точки зрения такое «алгоритмическое поведение» обнаруживает черты сходства с поведением эвристическим.

Это и неудивительно. Расплывчатые алгоритмы так и были задуманы, чтобы стать достаточно гибкой схемой, способной охватить многие задачи. В статье Л. Заде [1965] отмечается, что представление об алгоритме как о жестко предписанной схеме действий, построенной из однозначно понимаемых правил, закрывает путь к формализации многих, а возможно и большинства сколько-нибудь сложных задач. Нельзя алгоритмически описать процессы такого рода, как лечение больных или выбор места для стоянки автомобиля, хотя человек в общем справляется с такого рода задачами. Даже тогда, когда задача в принципе имеет алгоритмическое решение (например, игра в шахматы), современных вычислительных средств нередко совершенно не достаточно для разработки и реализации соответствующего алгоритма. С другой стороны, на неформальном уровне для таких задач имеются развитые и работоспособные системы действий, которые обычно оказываются достаточно эффективными.

Такие обобщения (или ослабления) «классического» понятия алгоритма, как недетерминистские и вероятностные алгоритмы, не годятся для того, чтобы охватить многие реальные задачи. Расплывчатые алгоритмы, по-видимому, лучше для этого приспособлены. Это связано с тем, что в данном случае к «типично алгоритмической» схеме действий присоединяются акты принятия решения, для которых имеются определенные правила (здесь «правило» употреблено в самом общем смысле этого термина).

В самом деле, без ограничения общности можно считать, что всякий алгоритм включает в себя команды двух родов: проверку

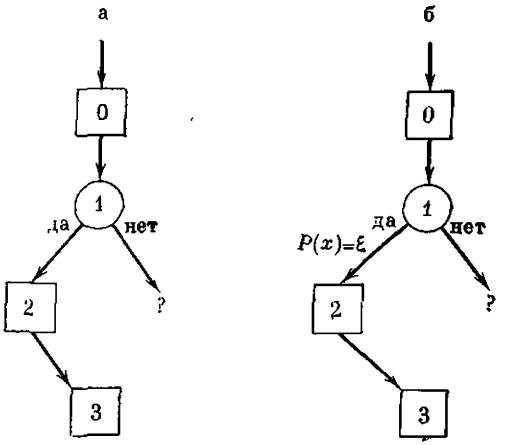


Рис. 3

логических условий (т. е. приказания об ответе на альтернативные вопросы, в зависимости от которых определяется следующий шаг алгоритма) и указания о выполнении определенных действий. Часто, правда, эти два элемента настолько слиты в предписании, что требуется специальный анализ для их разделения. Так, в частности, обстоит дело с расплывчатым предписанием (г). В ряде алгоритмических схем, служащих для точного определения понятия абсолютного алгоритма (например, в нормальных алгоритмах А. А. Маркова), акты проверок логических условий *явно не фиксируются — не выражаются в записи алгоритма*,— хотя, конечно, присутствуют в алгоритме [Смирнов В. А., 1963].

Прием анализа алгоритмов в терминах логических условий и указаний о выполнении определенных действий (операторов) может быть применен и в случае расплывчатых алгоритмов. Нечеткое предписание (г) тогда можно представить схемой, показанной на рис. 3а. Блок-схема этого предписания как нечеткого алгоритма (назовем его $A_{1\text{распл}}$) показывает, что после придания x определенного значения (блок 0 засылки исходных данных) это значение поступает на проверку в блок 1; этот блок проверяет расплывчатое логическое условие «Составляет ли x несколько шагов?»; блок 2 содержит команду «Продвинуться на x шагов»; блок 3 — *блок остановки* (выдачи результата); в случае отрицательного ответа на вопрос, хранящийся в блоке 1, поведение не определено (на схеме обозначено знаком вопроса). Очевидно, что эта блок-схема непосредственно не отражает *расплывчатости данного алгоритма*,— *последняя заключена в «содержании»* блока 1. Именно с ним связана ситуация (акт) принятия решения. Говоря детальнее, мы имеем здесь следующее.

Зафиксируем «исполнительное устройство» алгоритмов $У$. Тогда естественно считать, что для него определена функция $\mu D^{\circ}(x)$. Пусть таким определением является табл. 1, столб-

цы 1, 2. В соответствии с рассматриваемым нами первым способом поведения мы имеем дело с поведением, определяемым вероятностью отнесения данного числа шагов к категории «несколько шагов». Это означает, что если устройство $У$ осуществит достаточно большую серию актов поведения, предписываемых алгоритмом $А_1^{\text{распл}}$, то: 4 шага оно сделает с частотой 0,8/4,5; 5, 6 и 7 шагов — с частотами по 1/4,5; а 8 шагов — с частотой 0,7/4,5. Поведение такого устройства можно охарактеризовать, сказав, что числа шагов, равные $\leqslant 3$, 4, 5, 6, 7, 8, $\geqslant 9$, оно делает с вероятностями (частотами), приблизительно равными соответственно: 0; 0,178; 0,222; 0,222; 0,222; 0,156; 0. Вообще, для случая конечного числа положительных значений функции μ, если $\mu A(x_i)=\xi_i$ (где $i=1,...,n$; n есть число отличных от нуля значений, которые принимает функция членства, а ξ_i — значение этой функции для i-го значения x), то решение о выборе некоторого x_i принимается с вероятностью $\frac{\xi_i}{\tilde{\xi}}$, где

$$\tilde{\xi}=\sum_{i=1}^{n}\xi_i.$$

Это можно изобразить схемой, представленной на рис. 3б. На ней шагу, ведущему от блока, содержащего логическое условие 1, к «блоку действия» 2, приписан вес — зависящая от x ненулевая вероятность $p(x)=\xi$ осуществления этого шага; можно считать, что в этой вероятности и заключено правило принятия решения. Конечно, подобная ситуация принятия решения может встречаться в расплывчатых алгоритмах не один раз.

Обратим теперь внимание на то, что ситуация принятия решения при применении алгоритма $А_1^{\text{распл}}$ рассматривалась нами для фиксированного исполнительного устройства $У$. Существенным моментом этой фиксации является задание функции μ. Ибо естественно считать, что для двух различных исполнительных устройств функция μ, связанная с «одним и тем же» расплывчатым понятием вообще говоря, будет различной [9].

Рассмотрим теперь второй — пороговый — способ действия по расплывчатым алгоритмам. Он предполагает, что в исполнительном устройстве для каждой данной функции μ имеется порог членства. Точнее это означает следующее. Пусть $A_{\text{распл}}$ — некоторое нечеткое множество, характеризуемое функцией $\mu A(x)$; значение $\mu A(x)=\alpha$ называется порогом членства, если функция μ преобразуется в некоторую функцию членства $\mu' A(x)$, отличающуюся от μ тем, что она всем значениям функции $\mu A(x)$, которые меньше, чем α, придает значение 0. Введение порога членства выделяет среди всех значений, которые может принимать $\mu A(x)$, такие,

[9] Строго говоря, «одно и то же» понятие оказывается в этом случае двумя различными понятиями: последние различаются несовпадающими (в общем случае) функциями μ двух разных исполнительных устройств.

что $\mu A(x) \geqslant \alpha$. В результате возникает другое расплывчатое множество — A_α с функцией членства $\mu' A_\alpha(x)$.

Так, если для функции членства $\mu D^\circ(x)$ (см. табл. 1, столбцы 1 и 2) ввести порог $\alpha=0{,}8$, то расплывчатое понятие «несколько шагов» приобретет уже отчасти иной — причем более «жесткий» — смысл: перейдет в менее расплывчатое множество $D^\circ_{(0\,8)}$ с функцией членства $\mu' D^\circ_{(0,8)}(x)$, задаваемой следующей таблицей (табл. 1, столбцы 1 и 3).

Введение порога есть, таким образом, прием некоторой конструктивизации расплывчатого множества (и, значит, расплывчатого алгоритма, в котором используется такое множество). Ясно, что для одной и той же функции μ могут вводиться различные пороги. Если стремиться к максимальной конструктивности, то можно поступить так, как предлагает Заде: выбирать в качестве порога такое максимальное из значений функции $\mu A(x)$, при котором множество A_α не пусто. Для нашего примера это означает переход к функции μ'', задаваемой таблицей 1, столбцы 1 и 4.

Ясно, что такой подход равносилен введению хорошо определенного предиката: *«число шагов от 5 до 7»* (*которому соответствует* уже вполне четкое множество «пять или шесть или семь шагов») и, соответственно, повелительного предложения «Сделать от 5 до 7 шагов!», гораздо более четкого, чем расплывчатый алгоритм (г). Такой прием, собственно говоря, и используется обычно для конструктивизации расплывчатых понятий [10].

Некоторые психолого-гноссологические аспекты

Очевидно, что использование расплывчатых множеств (расплывчатых предикатов) — типичный случай в человеческом мышлении. Большинство понятий — предикатов (множеств, свойств, отношений), с которыми мы имеем дело не только в повседневной жизни, но и в науке (*вне математики*, во всяком случае) расплывчаты. Таковы, например, предикаты «добрый», «синий», «внимательный», «*каменный дом*», «*спортивный коллектив*», и т. п. Введение функций членства, соответствующих этим предикатам, указывает принципиальный путь формализации этих предикатов (понятий). Однако все дело в том, чтобы как-то определить (задать) требуемую функцию членства. В случае «*хороших*» *понятий — предикатов, рассматриваемых* в «обычной» логике,— функция членства в классе, являющемся объемом соответствующего предиката, принимает, как мы уже го-

[10] В данном случае эта конструктивизация, однако, в известном смысле возвращает нас к уровню недетерминистских алгоритмов; ибо предписание «Сделать от 5 до 7 шагов!» предполагает выбор (для которого не указаны соответствующие правила принятия решения) Заметим, кстати, что для порога 0,8 аналогичная трудность конструктивизации расплывчатого предписания проявляется в том, что применение предписания (г) в повседнии в этом случае требует использования также и вероятностного способа действия (чтобы различить ситуацию четырех, с одной стороны, и пяти — семи шагов, с другой).

ворили, только два значения,— эта функция совпадает с этим предикатом. Проблема формализации понятий тут не возникает: понятия заранее считаются «хорошими» — вполне объемно-определенными. Иное дело расплывчатые предикаты. Формализация этих понятий означает задание соответствующих функций членства. И поскольку формализация (в той или иной степени и форме) необходима для использования нечетких понятий в поведении, для объяснения деятельности, регулируемой расплывчатыми алгоритмами, следует предположить наличие у субъекта (человека как исполнительного устройства) интуитивного «чувства вероятности, правдоподобности» отнесения объекта к тому или иному расплывчатому множеству, т. е. способности к субъективной оценке частотности событий, на основе которой строится вероятностный или пороговый способы поведения (или их сочетание).

Мы указывали выше на результаты психологических и психолого-кибернетических исследований, позволивших сделать вывод, что «человек не может выполнять роль генератора случайных последовательностей выборов с заданным законом распределения» [Поспелов Д. А., Ситар П., 1969, стр. 201; разрядка наша.— *Б. Б.*]. Но это вовсе не означает, что субъект не может осуществлять *«вероятностного поведения»*, т. е. *поведения, естественно интерпретируемого наблюдателем* как акты выбора из некоторого множества альтернатив с определенными вероятностями. С другой стороны известно, что человек способен воспринимать вероятностную структуру сообщений и использовать это восприятие для повышения эффективности своего поведения (об этом, в частности, говорят исследования А. Н. Леонтьева и Е. П. Кричик [1954] и Е. П. Кричик [1968]). В свете всего этого выглядит убедительным, что способность к оценке значений функции принадлежности к тому или иному расплывчатому множеству для различных значений ее аргумента (аргументов) следует считать психологической реальностью. Функциями вида $\mu A(x)$ оперирует каждый человек, устанавливая, например, градации «порядочности» в множестве своих знакомых или прибегая к понятию «сильного шахматиста».

Здесь возникают вопросы трех типов. Первый из них связан с математическим аппаратом описания процедуры принятия решения, безотносительно к специфике исполнительного устройства. «Вероятностный» и «пороговый» способы поведения могут быть специфицированы различным образом (например, вероятностный способ может быть усложнен введением моментов более высоких порядков). Возможно, далее, привлечение идейного аппарата теории игр и статистических решений; например, один из способов поведения при выборе решения может быть основан на применении критерия Неймана — Пирсона [Д. И. Шапиро, 1975].

Второй тип вопросов намечен в статье Л. А. Заде [1966]. В ней указывается, что понятие нечеткого множества приводит к естественной формулировке проблемы абстрагирова-

ния. А именно, формулировка эта состоит в следующем. Пусть для некоторого нечеткого множества $A_{\text{распл}}$ (подмножества множества X) известно некоторое конечное число значений определяющей $A_{\text{распл}}$ функции членства $\mu A(x)$, например, n пар вида: x_1, $\mu A(x_1)$; x_2, $\mu A(x_2)$;...;x_n, $\mu A(x_n)$, где $x_j \in X (i=1, 2,...,n)$. Тогда абстрагирование может быть определено как оценка (определение) функции $\mu A(x)$ (Заде *использует обозначение* μ_A) *по ее* выборочным значениям. «Это, конечно, еще не есть математически строгая постановка задачи, так как здесь ничего не сказано о критериях, позволяющих судить, какая оценка функции μ_A является хорошей, а какая нет. Чтобы сделать проблему абстрагирования математически содержательной, необходимо располагать какой-то априорной информацией о классе функций, к которому принадлежит μ_A, и указать способ сравнения μ_A с ее оценкой. При этом тот факт, что человеческий мозг способен очень эффективно осуществлять абстрагирование даже тогда, когда соответствующая задача не сформулирована математически корректно, может лишь привести в замешательство исследователя. Между тем именно наше недопонимание существа процесса абстрагирования и вытекающая отсюда неспособность научить машину осуществлять такое абстрагирование лежит в основе большого числа нерешенных проблем в области эвристического программирования, классификации образов и других родственных областях» [*Заде Л. А., 1966, с. 38*].

Третий тип вопросов — психологический. Он связан со вторым, так как поиски в круге вопросов третьего типа весьма существенны для решения проблемы абстрагирования в приведенной выше постановке. Именно, речь идет о проблеме исследования механизма образования и оперирования человеком нечеткими понятиями и расплывчатыми предписаниями. Представляется убедительной гипотеза о том, что различия в «типах» мышления людей, случаи рассогласования их «логик мышления» и т. п. объясняются тем, что для «одних и тех же» нечетких понятий у разных людей имеются различные функции членства. Исследование этих функций — на конкретном экспериментально-психологическом материале — возможно, поможет понять явление различных стилей мышления людей, быть может даже создать своего рода типологию таких стилей. Для начала интересно было бы посмотреть, сколь родственны для разных людей те или иные функции μ, определяющие понятия вроде «несколько шагов»; сколь различны *для них пороги, которые они вводят для таких понятий.* Задачу испытуемым в этом случае можно было бы поставить в виде вопроса: «Вам дали указание пройти несколько шагов и остановиться. Сколько шагов Вы сделаете?» [11]. На этом пути воз-

[11] Еще лучше в этом случае непосредственно осуществить соотвстствующую ситуацию. Для детей, например, нетрудно придумать игру, где эта ситуация будет для них совершенно незаметна.

можно экспериментально исследовать степени принадлежности объектов тем или иным расплывчатым классам с точки зрения разных испытуемых.

Из концепции расплывчатых алгоритмов получаются примечательные выводы для дидактики. Один из них состоит в том, что нечеткие алгоритмы являются вполне равноправной формой учебных предписаний. Они могут занять — да фактически и занимают! — естественное место в том обучении алгоритмам, которое в книге Л. Н. Ланды [1966] было названо алгоритмизацией обучения. Разработка теории нечетких алгоритмов открывает дорогу созданию методик их применения в дидактическом процессе. Становится, в частности, очевидным, что применение расплывчатых предписаний (и прежде всего обучение таким предписаниям учащихся) возможно лишь при одном условии: надо быть уверенным в том, что у данной группы обучаемых (при групповом обучении алгоритмам) в целом достаточно родственные функции μ для всех (или большинства) входящих в такой алгоритм расплывчатых условий (и эти функции в достаточной мере известны педагогу). Это означает, что в случае обучения нечетким алгоритмам придется, по-видимому, выработать и применять определенные формы диагностики характера соответствующих нечетких понятий в данном контингенте обучаемых, что придется проводить работу по «стандартизации» этих понятий у учащихся как предварительному условию алгоритмизации обучения и применения методов дидактического программирования.

В заключение отметим, что нечеткость алгоритма может в нем совмещаться с «феноменом сводимости»: предписание может быть и алгоритмом сводимости, и нечетким алгоритмом; в этом случае естественно говорить — когда речь идет об алгоритмических процессах, выполняемых человеком,— о расплывчатых предписаниях алгоритмического типа. Кроме того, алгоритм может быть одновременно и расплывчатым, и алгоритмом со случайным выбором шагов. Это свидетельствует о том, что в реальных актах поведения алгоритмическое и неалгоритмическое тесно взаимосвязаны, переплетаются и переходят друг в друга. Алгоритмическое в мышлении и поведении неотделимо от эвристического, формальное, основанное на жестких правилах,— от процедур принятия решения, включающих неформальные моменты, и т. п. Кибернетическое моделирование интеллектуальных процессов и имеет в качестве одной из своих важнейших «составляющих» отображение этой диалектики формального и неформального, алгоритмического и эвристического.

Литература

Бирюков Б. В., Ланда Л. Н. Методологический анализ понятия алгоритма в психологии и педагогике в связи с задачами обучения.— В сб.: Вопросы алгоритмизации и программирования обучения, вып. 1. М., 1969.

Гарднер М. Математические головоломки и развлечения. М., 1971.

Глушков В. М. Введение в кибернетику. Киев, 1964.
Заде Л. А. Тени нечетких множеств.— «Проблемы передачи информации», т. II, вып. 1. М., 1966.
Заде Л. А. Основы нового подхода к анализу сложных систем и процессов принятия решений.— В кн.: Математика сегодня. М., 1974.
Кейслер Г. Дж., Чэн Чень-чунь. Теория непрерывных моделей. М, 1971.
Клини С. К. Введение в метаматематику. М., 1957.
Кринчик Е. П. О детерминации поведения вероятностной структурной ситуации.— «Вопросы психологии», 1968, № 3.
Ланда Л. Н. Алгоритмизация в обучении. М., 1966.
Леонтьев А. Н., Кринчик Е. П. Некоторые особенности процесса переработки информации человеком.— В кн.: Кибернетика, мышление, жизнь. М., 1964.
Марков А. А. Теория алгорифмов.— Труды Математического института имени В. А. Стеклова, т. XLII. М.— Л, 1954.
Новиков П. С. Элементы математической логики. М., 1959.
Поспелов Д. А., Ситар П. Анализ игры человека и машины в монетку.— В сб.: Проблемы эвристики. М., 1969.
Смирнов В. А. Алгоритмы и логические схемы алгоритмов.— В сб.: Проблемы логики. М., 1963.
Успенский В. А. Как работает машина Поста.— «Математика в школе», 1967, № 1.
Успенский В. А. Прибавление единицы на машине Поста.— «Математика в школе», 1967а, № 2.
Успенский В. А. Анализ и синтез программ машины Поста.— «Математика в школе», 1967б, № 3.
Успенский В. А. Возможности машины Поста.— «Математика в школе», 1967в, № 4.
Хованов Г. М. Эвристическая программа для оценки вероятности при неполной информации.— В сб.: Проблемы эвристики. М., 1969.
Шапиро Д. И. О методах принятия решений в сложных системах управления.— В сб.: Теория принятия решений. М., 1975.
Kleene S. C. On notation for ordinal numbers.— «Jornal of Symbolic Logic», 1938, vol. 3, p. 150—155.
Łukasiewicz J. O logice trójwartościowej.— «Ruch Filozoficzny», r. V, N 9, Lwów, 1920.
Santos E. S. Fuzzy Algorithms.— «Information and Control», 1973, vol. 17, N 4.
Zadeh L. A. Fuzzy sets.— «Information and Control», 1965, vol. 8, N 2.
Zadeh L. A. Communication: Fuzzy algorithms.— «Information and Control», 1968, vol. 12, N 2.
Zadeh L. A. Quantitative fuzzy semantics.— «Information sciences», 1971, vol. 3, N 2.

КИБЕРНЕТИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ И ПРОБЛЕМЫ ОПТИМИЗАЦИИ

Н. М. Мамедов, И. Б. Новик

Сейчас стало общепризнанным, что важнейший вклад кибернетики в современное научное познание связан с существенным усовершенствованием традиционного метода моделей. Обогащенное данными кибернетики моделирование содействует не только более глубокому отражению материи в мысли, но и перерастает в средство оптимального управления техническими системами и

принятия целесообразного решения в «больших» системах: экономике, взаимоотношении человека и природы, государственном аппарате и т. п. Моделирование становится существенной характеристикой самого стиля мышления в современной науке. В связи с этим приобретает особое значение анализ общих черт метода моделей и особенностей моделирования и оптимизации объектов различной природы.

При реализации идей оптимизации становится более очевидной эвристическая роль синтеза знаний. При оптимизации достаточно рельефно выражается взаимосвязь явлений природы, требующая для адекватного моделирования взаимодействия методов исследования различных наук, синтеза знаний.

Моделирование, как метод научного исследования и инструмент оптимизации сложных систем, способствует интеграции знаний на основе сближения различных путей познания из-за взаимосвязи внутренних механизмов объективных процессов. Интеграция знаний при этом как бы реализуется в форме «двухмерного» синтеза, одна составляющая которого — горизонтальный «синтез», связанный с формализованной характеристикой явлений разных классов. Благодаря этим приемам различные по содержанию и предмету научные подходы сближаются.

Вторая составляющая — это вертикальный «синтез», связанный с углублением представлений об общем физическом содержании качественно различных природных явлений.

В соответствии с этой исходной предпосылкой попытаемся выяснить интегрирующую роль моделирования и идей оптимизации в современной науке.

Моделирование и аппроксимация

В современном языке науки термин «модель» относится к числу широко распространенных. Он приобретает статус методологического приема, пронизывающего по существу современное научное познание от социологии и искусствоведения до теории элементарных частиц и прикладных инженерных разработок. Чрезвычайно удивительна и непосредственная связь моделирования с философскими вопросами, которая особенно рельефно выражается при анализе функций мозга. Это оригинально отметил Ричард Грегори: «...мы не поймем функций мозга достаточно полно, пока новые технические достижения не дадут нам возможность моделировать его. Не правда ли, интересно, что чисто философские вопросы были выяснены и нашли свое разрешение благодаря прогрессу технической мысли? (Этот факт даже беспокоит некоторых наших мыслителей на Западе!)» [1970, с. 10]. Хотя здесь Ричард Грегори неправомерно считает психофизиологические вопросы чисто философскими; но он абсолютно прав, указывая на большую роль моделирования в выяснении этих сложнейших вопросов.

Следует заметить, что распространение метода моделирования вширь вызвало суждения о наметившемся «дроблении» моделирования на множество самостоятельных эмпирических приемов. Однако, в действительности, за многообразием моделей скрыта единая логика, охватывающая научное познание в целом.

Универсальна и эвристическая роль моделей, охватывающих эмпирическое и теоретическое познание. Именно поэтому на основе метода моделей сближаются фундаментальные исследования и прикладные разработки. Это подтверждает и В. А. Веников, характеризуя природу физической модели электрических систем: «...динамическая модель являлась и является базой для проведения экспериментов, связанных с обоснованием теоретических исследований» [1970, с. 24].

Метод моделей не является застывшим. Модели Леонардо да Винчи и современные модели сложных систем имеют большие различия; но в то же время их объединяет наличие некоторого объективного соответствия между моделью и оригиналом. В этом соответствии — источник эвристической роли моделей.

Специфика современного этапа научного познания находит свое концентрированное выражение в тенденции универсализации метода моделей. Причем сама эта тенденция зиждется на универсальности материалистической диалектики и развивает ее. Именно на основе диалектики можно сформулировать общегносеологическое понятие моделирования.

Моделирование — это метод практического или теоретического опосредованного оперирования объектом, в ходе которого исследуется *непосредственно не сам интересующий нас объект, а* некоторая промежуточная вспомогательная система (естественная или искусственная), которая:

а) находится в некотором объективном соответствии с самим познаваемым объектом;

б) способна в ходе познания на известных этапах замещать в определенных отношениях сам изучаемый объект;

в) давать в процессе ее исследования в конечном счете информацию о самом интересующем нас объекте.

Сама эта промежуточная вспомогательная система — модель — может выступать как в виде вещественного агрегата, так и в виде некоторого сочетания знаков.

В этой связи следует отметить необоснованность чрезмерного противопоставления модельного познания аналитическому познанию, опирающемуся на методы точного математического описания сложных систем. Аналитические точные приемы, если их удается создать применительно к сверхсложным системам, можно рассматривать как более высокую форму всеобщего метода моделей.

Модель (в ее вещественно агрегатной и знаковой модификациях) служит наиболее эффективным в современных условиях средством сближения различных научных дисциплин в исследова-

нии тех наиболее трудно постигаемых объектов, представляющих собой сложные динамические системы.

Универсальность и относительно легкая формализуемость — это две важнейшие черты моделей, определяющие эффективность их использования в современных исследованиях сложных систем. *Эти черты наиболее плодотворно проявляются в моделях*, основывающихся на идеях и представлениях кибернетики, специально занимающейся познанием и разработкой путей управления сложными динамическими системами.

Хотя понятие сложнодинамической системы можно распространить на материальные образования различной природы, однако вместе с тем его применение для исследования конкретных объектов является зачастую нетривиальной задачей. Это обусловлено тем, что требуется «приспособление» объекта к системному кибернетическому подходу, что влечет за собой неизбежную идеализацию рассматриваемого явления.

Познать сложно-динамические системы это значит найти соответствующую конкретным условиям той или иной задачи меру упрощения сложных систем. И здесь незаменим выработанный веками научного познания механизм аппроксимации явлений с помощью моделей той или иной природы. Решающую роль в трактовке современных форм моделирования сложных систем играют *методологические проблемы аппроксимации*. Ведь сложность выступает не только как антитеза простоты, но и в качестве ее обобщения. И вполне естественно, что чем сложнее исследуемые объекты в современной науке, тем существеннее в ней роль фактора аппроксимации. Однако момент упрощения в общем и целом не является чем-то уникальным, исключительно специфичным для сегодняшней ситуации в научном познании.

«Мы не можем,— подчеркивает В. И. Ленин в «Философских тетрадях»,— представить, выразить, смерить, изобразить движения, не прервав непрерывного, не упростив, угрубив, не разделив, не омертвив живого. Изображение движения мыслью есть всегда огрубление, омертвление,— и не только мыслью, но и ощущением, и не только движения, но и **всякого** понятия». [Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 233].

Из этого фундаментального факта, что момент упрощения свойствен всему познавательному процессу в целом, следует необоснованность резкого противопоставления таких форм познания, как модель и теория. Ведь нельзя полагать, что «модель всегда отражает определенную теорию, являясь некоторой формальной структурой теории, ее некоторой копией» [Achinstein P., 1968, p. 237]. Модель — полноценное знание, а не суррогат теории. Модель — это форма становления теории, а научная теория выступает весьма часто в виде развившейся модели. В модели элемент сознательного введения упрощающего допущения присутствует в четко обоснованном виде, в теории же момент упрощения существует всегда, но часто в неявном виде.

Можно сформулировать три методологических основания тенденции сближения модели и теории в современном научном познании:

— осознание неизбежности момента упрощения, неполноты в любой познавательной форме ликвидирует резкую грань между относительно упрощенно описывающей явление моделью и относящейся к тому же кругу явлений теорией;

— модель превосходит простую описательную систему, фиксирующую информацию об объекте прежде всего тем, что она может подобно теории служить инструментом для предсказания до сих пор не наблюдавшихся событий;

— модель — это род не только экспериментального, но и теоретического познания. Поэтому иногда вместо терминов «модель» и «теория» употребляют термины «частная модель» и «общая модель» [см., например,: Буш Р., Мостеллер Ф., 1963].

Частная модель дает нам представление об эмпирической сущности некоторого явления, а общая модель теоретически осмысливает его природу, конечно, с известной долей упрощения, огрубления.

Неустранимость момента неполноты, огрубленности наших знаний о реальном мире с точки зрения теории познания диалектического материализма отнюдь не ставит под сомнение саму объективность наших знаний о действительности, существующей независимо от наших теоретических конструкций. Глубокая ленинская трактовка методологического статуса момента релятивности в научном познании наряду с признанием относительности определенной «упрощенности» наших теорий содержит и неотразимые возражения против абсолютного релятивизма в научном исследовании, ведущей к субъективизму, агностической апологии принципиального бессилия человеческого разума в постижении мира.

В диалектико-материалистической постановке проблемы аппроксимации речь идет о другом — мера точности того или иного подхода к сложной системе не абстрактна и абсолютна, а конкретна и относительна, т. е. зависит от условий оперирования сложной системой.

Целенаправленная и рациональная аппроксимация выступает как основная познавательная процедура, по отношению к которой дискретизация системы играет роль вспомогательного мероприятия, эффективного средства.

Современные виды аппроксимации являются в той или иной мере строгими: упрощение систем производится по возможности на количественной формализованной основе. Строгость, таким образом, оказывается второй важнейшей методологической чертой аппроксимации.

Инструментами же реализации относительно строгой логики упрощения являются модели. При этом само понятие модели достигает наивысшей обобщенности — моделью становится не только некоторый дополнительный самостоятельный объект, относительно

изоморфный исследуемому объекту, но и дискретный «срез» самого исследуемого объекта, взятого с точностью до некоторой меры аппроксимации. Дискретизация объекта, т. е. представление его в виде множества прерывных элементов (одни из которых могут быть учтены в данной модели, а другие игнорироваться) служит основой активного манипулирования им, основой разбиения познавательного процесса на целый ряд моделей.

Современная аппроксимация не просто стихийно складывается, а сознательно вносится в каждый познавательный акт.

Исходя из этого, сам процесс познания в целом можно в определенном плане рассматривать как моделирование определенных «срезов» реальной действительности. Подобное представление трактует само познание как множество прерывных элементов, как дискретный процесс смены одной модели объекта другой. Познание выступает как дискретный процесс, что связано с усилением в современной науке методологической роли общей концепции квантования. Такая целенаправленная аппроксимация, конечно, служит выражением не слабости, а силы познающего субъекта.

Можно различать моделирование в специальном смысле, связанное с обобщением и развитием видов аналогии, и моделирование в общем смысле, представляющее собой не отдельную познавательную форму, рядоположенную с другими познавательными формами — понятием, теорией и т. п., а выступающее в качестве некоторого всеобщего аспекта познавательного процесса, взятого под углом зрения дискретизации и аппроксимации. Моделирование в этом смысле охватывает все познание, но не исчерпывает его по глубине.

Эта тенденция универсализации обобщенного метода моделей способствует усилению фактора синтетической целостности в научном познании, выработке единого понятийного строя (языка) всей науки как целого.

Разработка строгой *логики аппроксимации* — это одно из генеральных направлений прогресса научной мысли в обозримый период.

В ходе уточнения и углубления приемов упрощения все более и более сложных систем различные научные дисциплины будут сближаться. И развитие общего метода моделей для различных наук — это важный путь синтеза научных знаний.

Гносеологическая специфика кибернетических моделей

Моделирование входит в кибернетику как ее неотъемлемая сторона. Рассмотрение различных сфер науки и практики с точки зрения кибернетического подхода в настоящее время является одним из важнейших каналов распространения моделирования.

Кибернетическое моделирование, удачно используя принцип «черного ящика», абстрагируясь от внутреннего содержания сложных систем, сосредоточивает внимание на характеристике их внешних функций, дает возможность наиболее целесообразно сочетать строгие, формализованные и нестрогие, интуитивные приемы познания. Кибернетическое моделирование позволяет выразить сложнейшие процессы через количественные отношения, в которых проступает определенное внутреннее содержание моделируемых явлений. Это расширяет применение математических приемов в сфере ранее недоступных математизации научных дисциплин. Тем самым кибернетическое моделирование способствует тенденции сближения содержательных и формализованных приемов исследования.

В кибернетическом моделировании выделяются два основных направления: конструирование реально функционирующих вещественных агрегатов и построение логико-математических моделей. Соответственно этому можно выделить два основных типа кибернетических моделей: агрегатные, вещественно-технические и абстрактные, логико-математические модели.

Разработка этих двух направлений моделирования связана с самим возникновением кибернетики [см. подробнее: Новик И. Б., 1965].

Важнейшим достижением кибернетики явилось естественнонаучное раскрытие общности ряда биологических, психических и социальных процессов с функционированием некоторых технических устройств. Кибернетика не только вскрыла эту общность, но и использовала ее в качестве основы для моделирования. Если онтологически в формулировании своего предмета кибернетика опирается на эту общность, то в методологическом плане она прежде всего раскрывает пути моделирования ряда биологических, технических и социальных процессов.

Говоря о своеобразии кибернетического моделирования, необходимо отметить, что техническая кибернетическая модель и моделируемый биологический объект относятся к разным формам движения материи. Это первое, на что следует обратить внимание при рассмотрении кибернетического моделирования.

Для выяснения своеобразия кибернетических моделей наиболее существенно рассмотреть, какие именно стороны объектов и с какой целью моделируются в кибернетике.

В кибернетическом моделировании исследование идет от функции системы (с неполно описанной внутренней структурой) к ее искусственному моделированию, не обязательно на базе той же самой структуры. Здесь опираются на принцип неоднозначной, нежесткой статистической связи функции и структуры, на принцип производности данной исследованной функции от целого класса структур, различных по своим вещественным субстратам. Эта возможность двигаться в моделировании от функции к функции определяется тем, что одно и то же поведение может быть реали-

зовано различными внутренними структурными состояниями. Относительная независимость функции от структуры и лежит в основе кибернетического моделирования. Эту относительную независимость, конечно, нельзя понимать в том смысле, что якобы возможна функция вообще без соответствующей ей внутренней структуры. Дело здесь заключается в известном обобщении зависимости функции от структуры: функция определяется не данной единичной структурой, а связывается с целым классом (статистическим ансамблем) структур; функция рассматривается поэтому вообще вне ссылок на данный единичный внутренний механизм.

Таким образом, в кибернетическом моделировании научное познание, получив возможность относительно абстрагироваться не только от вещественных субстратов и энергетических процессов моделируемых объектов, но и от их внутренних причинных связей, раскрывает прежде всего внешние функциональные зависимости системы от среды. Следовательно, кибернетическое моделирование имеет преимущественно функциональный характер.

Итак, кибернетическое моделирование предполагает два объекта: систему и среду. Но дело не только в этом. В ходе кибернетического моделирования на базе двух объектов (системы и среды), структура которых неполно исследована, мы строим третий промежуточный объект — систему их функциональных связей. Необходимо подчеркнуть, что *возможность кибернетического функционально-информационного моделирования* определяется двумя объективными обстоятельствами: относительной самостоятельностью функций от структуры (статистичностью зависимостей между ними) и относительной самостоятельностью поведения системы по отношению к ее внутренней структуре и структуре среды.

С данными обстоятельствами неразрывно связаны и важнейшие задачи кибернетического моделирования, заключающиеся в обеспечении управления сложнодинамическими системами как процессом подчинения их поведения определенным целям. В соответствии с этим специфическим предметом и задачами мы и называем кибернетическое моделирование функциональным моделированием. Для функциональных моделей характерен, по выражению У. Эшби, «топологический подход», при котором развитие системы рассматривается главным образом не в плане ее внутренних причинных связей, а лишь под углом зрения ее уравновешивания со средой на базе механизма обратных связей. Акцентируя внимание на внешних функциональных связях системы со средой, кибернетика во главу угла ставит динамическое уравновешивание системы с меняющейся средой (гомеостазис).

Гомеостатический подход к сложным системам, относительно отвлекающийся от характеристики их внутреннего содержания, правомерен именно в силу того, что в реальном мире существуют *соответствующие этому подходу объективные процессы*. Такими процессами, определяющими механизм уравновешивания системы и среды, являются процессы управления. Специфика кибернетиче-

ских моделей заключена именно в том, что они характеризуют объекты не под углом зрения вещественных субстратов или энергетических соотношений, а под углом зрения информационных процессов и процессов управления. Сама реальность этих процессов и служит материальной почвой функционального кибернетического моделирования.

Попытки сблизить функциональный подход кибернетики с махистской трактовкой функциональных связей совершенно несостоятельны [1].

Раскрывая несостоятельность махистского противопоставления субъективистски трактуемых функциональных связей объективной причинности, В. И. Ленин в «Материализме и эмпириокритицизме» писал: «Действительно важный теоретико-познавательный вопрос, разделяющий философские направления, состоит не в том, какой степени точности достигли наши описания причинных связей и могут ли эти описания быть выражены в точной математической формуле,— а в том, является ли источником нашего познания этих связей объективная закономерность природы, или свойства нашего ума, присущая ему способность познавать известные априорные истины и т. п.» [Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 18, с. 164].

В кибернетическом моделировании имеет место различие вещественных субстратов модели и моделируемого объекта при их структурной общности. Признание же некоторой объективной общности определенных сторон модели и моделируемого явления — это важнейший материалистический принцип подхода к моделированию.

Для махистской трактовки функциональных связей кроме утверждения о том, что функциональные связи по своей природе субъективны и представляют форму некоторой систематизации потока ощущений познающего субъекта, характерно также настаивание на *принципиальной непознаваемости тех внутренних* причинных зависимостей, которые лежат в основе внешних функциональных связей. В полной противоположности с этим кибернетический подход в его рациональной диалектико-материалистической трактовке не только исходит из непреложного признания объективности, независимости от сознания субъекта внешних функциональных связей, но и подчеркивает, что внутренние причинные механизмы, которые сегодня нам еще не известны (и от которых мы сегодня относительно отвлекаемся) существуют объективно и будут познаны завтра.

Субъективизм в трактовке функциональных связей характеризуется и резким противопоставлением их причинно-следственным отношениям. Напротив, функциональный подход в диалектико-материалистической трактовке ни в коей мере не альтернативен причинному. Анализ функциональных связей, так же как и вся-

[1] Подобная попытка сделана, например, в работе: [Stachowjak H., 1969].

кая форма научного познания имеет, конечно, отношение к причинности. Но в функциональном подходе раскрывается внешний план причинности, внешняя причинность, с тем, чтобы в ходе дальнейшего развития процесса познания перейти к характеристике структуры внутренних причинно-следственных отношений моделируемого объекта. Здесь обнаруживается всеобщая закономерность познавательного процесса: диалектическое движение познания от характеристики функциональных отношений к раскрытию внутренних причинных механизмов и структур объектов.

Таким образом, статистический характер зависимости функции от структуры и относительная самостоятельность функции от структуры отражают диалектическую природу кибернетического моделирования. Различные проявления и формы взаимоотношения функции и структуры в различных сферах реальности не противоречат обобщенному пониманию принципа диалектического единства функции и структуры. При этом универсальная сторона диалектического принципа единства функции и структуры выражается в тезисе: не может быть функции, которая не была бы функцией (не обязательно жестко связанной) некоторой структуры, как не может быть структуры, не имеющей потенциальных функций. Этот тезис всецело справедлив для кибернетического моделирования сложнодинамических систем. В то же время столь же несомненны развитие и спецификация этого принципа в кибернетическом моделировании.

Функциональная природа кибернетического моделирования отнюдь не противоречит тому факту, что в кибернетических моделях находят выражение определенные стороны самой структуры объекта-оригинала. Напротив, функциональная модель выступает в качестве момента на сложном диалектическом пути постижения структуры моделируемого объекта. Бесконечное углубление в сущность объекта идет, таким образом, от функции к структуре, от нее к более глубокой функции и т. д. Это важное выражение диалектики в кибернетическом моделировании.

Сходство функциональных связей модели и моделируемого объекта, т. е. их изофункционализм позволяет сравнивать внешнее поведение, функции систем, принадлежащих к различным уровням, к различным формам движения материи. Это сравнение «подсказывает» исследователю путь выяснения особенностей одних форм движения через другие формы.

Оптимизация как метапроблема науки

Важнейшая особенность кибернетического управления — в единстве управления и оптимизации. Если управление качественно связано с целесообразностью, то оптимизация дает количественно конкретизированную интерпретацию этой связи. Поэтому вполне естественно, что под влиянием кибернетических идей резко возрос интерес к изучению аспекта организованности материи, хотя три-

виальные задачи оптимизации спорадически возникали и решались на протяжении всей истории науки.

В ретроспективе интерес к вопросам оптимизации обусловливался практической потребностью человека и мотивировался интуитивной верой в целесообразный характер природных явлений. Впоследствии эта вера была обоснована такими фундаментальными положениями науки, как принцип «кратчайшего времени» Ферма, принцип наименьшего действия Мопертюи, принцип Гамильтона, теория естественного отбора и принцип относительно оптимального строения живых организмов. По ходу развития науки умозрительные телеологические спекуляции сменялись разработкой приемлемого для решения задач оптимизации научного аппарата, поисками объективных оснований всеобщности экстремальных закономерностей.

Не вдаваясь здесь в подробности эволюции представлений об экстремальных процессах, являющейся, безусловно, предметом отдельного исследования, отметим лишь, что наличие максимума или минимума в количественных характеристиках объектов — одна из наиболее общих закономерностей естествознания. В этом отношении примечательно проницательное высказывание Л. Эйлера: «В мире не происходит ничего, в чем не был бы виден смысл какого-нибудь максимума или минимума» [1934, с. 447].

Наличие экстремума в количественных характеристиках объектов объясняется протеканием в них процессов, ведущих к противоположным результатам. Поэтому всеобщность экстремальных закономерностей можно объяснить наличием в объектах диалектически противоречивых сущностей [подробнее см.: Мамедов Н. М., 1972].

Именно объективное наличие таких конфронтирующих обстоятельств делает возможным постановку задач оптимизации.

Оптимальность есть отражение свойств экстремальности объектов под углом зрения конкретных условий.

Представление об оптимальном меняется в соответствии с углублением наших знаний о мире, в соответствии с эволюцией наших представлений об объективной истине.

Видоизменение критериев оптимизации можно рассматривать как изменение цели субъекта, направленное на достижение ограниченного во времени конкретного результата. Такую цель можно считать «текущей, ибо она выдвигается данной ситуацией и выражается потребностью системы в данный момент времени» [см.: Украинцев Б. С., 1972, с. 181].

Выбор критериев оптимизации — не субъективное дело, ибо на основе оценивающей деятельности всегда возникает обратная связь с возможными результатами оптимизации. Кроме того при реализации поставленных задач оптимизации субъективные моменты объективируются, поскольку при этом цель — достижение оптимума — «смыкает себя через некоторое средство с объективностью» [Гегель, т. 6, с. 200]. Этим средством при оптимизации

являются экстремальные закономерности, выражаемые посредством моделей оптимизируемых объектов.

Предварительным условием применения как классических, так и современных методов оптимизации является необходимость создания модели объекта. При оптимизации имеют дело не с самими реальными объектами, а с их моделями. Без аппроксимирующей функции моделей невозможно решение даже простейших задач оптимизации. Эвристические потенции моделирования позволяют «увидеть» и реализовать «оптимальность» в явлениях, где вначале это даже кажется невозможным. Из-за этого эффективность применения моделирования при оптимизации, порой, приобретает таинственные черты. «Кажется необычным то, что математические идеализации, впервые обнаружившие себя иррационально, ведут к наиболее полезным и конкретным следствиям» [*Ulam S., 1969, p. 2*]. Однако «иррационализм» математических моделей мнимый. Математические модели исходят из качественной картины видимого «среза» объективной реальности. Из-за единства и широкой общности формализованных методов они позволяют впоследствии проникать и адекватно отражать количественные закономерности и в невидимых «срезах» объективной реальности, становятся эвристическим «ключом» в познании мира. Стало *быть, здесь никакой мистики нет.*

Следует заметить, что некоторым методам оптимального управления, например, экстремальному управлению, «эволюционной оптимизации», порой приписывается возможность функционирования вообще без всяких моделей, несмотря на то, что и в этих случаях имеется определенная модель объекта. Так, экстремальное управление применимо лишь в том случае, если есть априорная *информация об экстремальном характере* установившегося (статического) режима работы объекта. Причем, это выявляется функциональным методом кибернетики — методом «черного ящика». Таким образом, такая характеристика режима работы объекта есть не что иное, как модель статического режима и «квазимодель» объекта в целом.

При «эволюционной оптимизации» создается модель физического процесса *с помощью включенной в систему* управления вычислительной машины. Далее используется итерационная процедура и переменные управления корректируются последовательными шагами для достижения оптимума целевой функции [см.: Ли Т. Г., Адамс Г. Э., Гейнз У. М., 1972, с. 238].

Современная теория оптимизации преимущественно исходит из представления рассматриваемых явлений в виде сложнодинамических систем. Однако, как уже было показано, нельзя практически оперировать сложной системой, управлять ею, оптимизировать ее иначе, чем вводя некоторые модельные аппроксимирующие допущения. Именно благодаря такому упрощению, осуществляемому часто интуитивно, решается целый класс задач так называемой параметрической оптимизации. В этих задачах оптимизируется ка-

кой-либо определенный параметр, что с математической точки зрения сводится к нахождению экстремума (максимума или минимума) некоторой целевой функции при определенных ограничениях. При этом оказывается приемлемым иногда и простое дифференцирование, и метод множителей Лагранжа. В более сложных случаях приходится пользоваться неклассическими методами вариационного исчисления: принципом максимума Понтрягина, динамическим программированием и т. д.

С гносеологической точки зрения параметрическая оптимизация выражает лишь момент в познании окружающего нас мира, ибо отдельные стороны процесса оказываются «вырванными» из всеобщей связи и рассматриваются изолированно, без взаимной связи. В соответствии с этим такую оптимизацию можно назвать *«изолированной» оптимизацией*. Когда задачей исследования являются, например, определение оптимальных форм конструкций, оптимального числа элементов в логической схеме и т. п.— подобный подход вполне допустим. Когда же дело касается проектирования систем, изменяющихся в результате внутренних и внешних влияний во времени, т. е. имеющих связь с внешней средой — сюда можно отнести все природопреобразующие агрегаты: технические установки, промышленные предприятия и т. д.,— то все более очевидна ограниченность параметрической оптимизации. Например, увеличение содержания углекислого газа в атмосфере, как известно, способно привести к так называемому «парниковому эффекту», т. е. к нарушению равновесия биосферы, избежать которую можно совершенствованием современных методов получения энергии, созданием циклических производств в химической, металлургической и других отраслях промышленности, т. е. глобальной оптимизацией всей системы производства. Таким образом, современная наука, не успев полностью реализовать идеи параметрической оптимизации, более или менее удачно решаемые неклассическими методами вариационного исчисления, оказалась перед необходимостью создания совершенно нового пути оптимизации, способного учитывать взаимосвязь различных явлений и удовлетворять комплексным критериям, пронизанным биосферными ограничениями. Как подчеркивает В. А. Веников, оптимизация глобальной системы: биосфера — человек — техника требует «совершенно новых, непривычных для техники (для инженеров) методов исследования, имеющих комплексный характер (техника — экономика — биосфера — геофизика)» [1972, с. 4].

Оптимизация, стало быть, приобрела метапроблемный характер и суть ее восходит к единству материального мира. И поэтому оптимизация конкретных природопреобразующих систем тесно переплетается с проблемой оптимизации биосферы. Осознание этого факта весьма важный момент в эволюции проблемы оптимизации. Тем более, что при этом выражается и существенная биосоциальная сторона развития техники, обнаруживается единство социальных и природных явлений.

Может показаться странным, что учет экологических условий в деятельности делает неизбежным «замыкание на человеке» критериев оптимизации. Однако это естественно, так как человек служит антиэнтропийным фактором реальности на базе гармонизации, упорядочения биосферы и собственной деятельности. И поэтому человек призван оптимизировать природу в той же мере, в которой он оптимизирует свою деятельность.

В системе «человек — природа» канал обратной связи, информирующий в обычных системах с незначительным запаздыванием о результатах управляющего воздействия, становится столь инерционным, что система оказывается, с точки зрения управления, практически незамкнутой. Из-за большой инерционности канала обратной связи изменения химических и физических параметров биосферы воспринимаются как очень медленные процессы, что само по себе весьма опасная иллюзия... Поэтому, если ясна цель — оптимизировать взаимосвязь человека и природной среды, то из-за трудностей предвидения результатов последствий тех или иных воздействий на биосферу, пути решения при таком созерцательном рассмотрении трудно увидеть. Правда, задачи оптимизации биосферы при такой постановке сводятся к классической модели теории игр: «игра человека с природой». Но поскольку неопределенность ситуации определяется не только природой, но и неизвестностью конкретных стратегий человека — в глобальном масштабе это трудно формализовать,— то практический выход от такой модели пока трудно получить.

Однако если учесть, что состояние биосферы определяется интегральным характером техногенного воздействия, складывающегося из отдельных элементов взаимодействия человека и природы — разнообразные технические устройства, технологические процессы, получение энергии и т. д., — то оптимизацию биосферы можно реализовать минимизацией отдельных составляющих техногенного воздействия. Для этой цели выбирают технологические процессы и устройства, которые обеспечивают максимально возможный минимум (или максимум) воздействия на биосферу [2]. И здесь может быть велика заслуга теории игр. И если задача абстрактна в глобальной постановке, то при таком подходе по крайней мере становятся более реальными рассуждения о логике событий, связанных с противоречивыми интересами. Несомненно, это способствует и формулированию новых принципов, более адекватно отражающих сущность взаимодействия человека и природы.

[2] Здесь речь идет о методологических путях оптимизации природно-преобразующих систем на стадии их разработки. Поэтому не затрагиваются вопросы, связанные с минимизацией техногенного воздействия действующих систем. Этой проблеме уделяется сейчас должное внимание нашей партией и правительством. Одним из авторов предпринималась попытка специального рассмотрения этого вопроса [см.: Новик И. Б., 1969].

В методологическом плане нам представляется, что чрезвычайно плодотворную роль здесь может сыграть представление конкретных природо-преобразующих агрегатов в виде функционирования такой сложнодинамической системы, на выходные химические и физические параметры которой наложены жесткие ограничения, исходящие из биосферных потребностей человека. При этом оптимизацию проектируемого природо-преобразующего объекта как сложнодинамической системы можно условно разбить на два этапа:

1) оптимизация системных элементов (подсистем);

2) оптимизация взаимодействия выделенных системных элементов.

Функционирование системных элементов подчиняется детерминированным или же стохастическим закономерностям. При этом как известно, часто возможно сводить стохастические закономерности к детерминированным и значительно упростить решение задачи. А в ряде случаев, когда функционалы заданы не аналитически и методы классического вариационного исчисления оказываются бессильными, возможно использовать и математический аппарат теории игр. Так, например, вариационную задачу переводят простой квазилинеаризацией к задачам о нахождении минимакса (см.: Беллман Р., Гликсберг И., Гросс О., 1962, с. 281). Таким образом, если учесть, что в современной науке достаточно развит как математический аппарат, так и технические средства, позволяющие реализовать оптимизацию по какому-либо параметру, то оптимизация выделенных системных элементов не представляет концептуальных трудностей.

Оптимальное функционирование всего проектируемого объекта требует такого взаимодействия оптимизированных подсистем, чтобы выходные данные системы, как было уже отмечено, не нарушали жестких биосферных ограничений. Здесь задача осложняется тем, что каждая выделенная подсистема имеет свой критерий оптимизации, определяемый ее природой. А оптимальность системы должна определяться комплексным критерием, ибо функционирование системы необходимо оценивать не только с технико-экономических, но и с биосферных позиций. Возникает ситуация, когда целевая функция или границы допустимых действий становятся неизвестными. Эта ситуация — типичная проблема выбора решений в случае нескольких критериев и известна в исследовании операций как векторная оптимизация. Ее сложность обусловливается необходимостью использования некоторой схемы разумного компромисса, позволяющего гармонично повышать качество решения по всем локальным критериям.

Трудности в таких случаях носят не вычислительный, а концептуальный характер, так как обусловлены необходимостью выбора принципа оптимальности, нормализацией векторного критерия эффективности и учетом приоритета (или различной степени важности) локальных критериев [см.: Борисов В. И., 1972, с. 73].

Таким образом, задача оптимизации, которая была на первом этапе детерминированной или стохастической из-за необходимости принятия решения в условиях неопределенности, на втором этапе переводится на игровой уровень. Такая ситуация, когда неопределенность является не одним из условий задачи принятия решения, а касается самих этих условий, описывается моделью игры с неполностью известными правилами. Задачу выбора приоритета того или иного критерия можно представить как коалиционную игру. При этом более адекватной будет модель игры, где информация к игрокам поступает непрерывным потоком (сведения о реакции биосферы на то или иное техногенное воздействие).

Итак, используя основные понятия кибернетического моделирования — сложнодинамическую систему, удается охватить в глобальном масштабе процесс оптимизации для конкретной природо-преобразующей системы. Такая модель, отражая определенные структурно-субстратные характеристики системы, позволяет вычленить и оптимизировать отдельные подсистемы, представить всю систему как взаимодействие оптимизированных «квантов». Однако последующий этап оптимизации показывает неопределенный и конфликтный характер функционирования всей системы, обусловленной в конечном итоге особенностями взаимодействия человека и природы. Поэтому задача выбора оптимального решения сводится на игровой уровень.

Пока единственный математический аппарат исследования операций, способный «работать» в конфликтных и неопределенных ситуациях,— это теория игр. Причем ее использование в данном случае носит не формальный, а содержательный аспект, ибо отражает саму конфликтность ситуации.

Моделирование подобных игровых ситуаций могло бы способствовать и прогнозированию последствий принимаемых решений. Однако динамичность притока информации затрудняет решение проблемы существующими средствами. Несомненно, наметившаяся консолидация математиков, кибернетиков, психологов, нейрофизиологов и специалистов других областей знания позволит в ближайшем будущем определить механизм принятия решения на различных уровнях и на ее основе создать более адекватный и гибкий математический аппарат (быть может, и необязательно в рамках теории игр), помогающей решить и указанную проблему.

Итак, эволюция методологии оптимизации природопреобразующих технических систем показывает, что задача оптимального управления переходит в проблему оптимизации сверхсложных систем, в которых должны учитываться технико-экономические последствия взаимодействия с биосферой. Становится очевидным, что оптимизация должна осуществляться прежде всего ради самого человека, а ее лейтмотивом должно быть диалектическое взаимодействие естественных и социальных наук, приводящее к единству знания.

Литература

Беллман Р., Гликсберг И., Гросс О. Некоторые вопросы математической теории процессов управления. М., 1962.
Борисов В. И. Проблемы векторной оптимизации.— В кн.: Исследование операций. М., 1972.
Буш Р., Мостеллер Ф. Стохастические модели обучаемости. М., 1963.
Веников В. А. Научные разработки в области управления энергетикой.— Доклады Всесоюзной объединенной межвузовской конференции по физическому моделированию (VI) и кибернетике энергетических систем (II). Баку, 1972.
Гегель. Наука Логики — Сочинения, т. VI. М., 1939.
Веников В. А. Динамическая (физическая) модель электрических систем.— Труды МЭИ, 1970, вып. 77.
Грегори Р. Л Глаз и мозг. М., 1970.
Ли Т. Г., Адамс Г Э., Гейнз У. М Управление процессами с помощью вычислительных машин.— В кн.: *Моделирование и оптимизация.* М., 1972.
Мамедов И. М. Функциональный подход и формализация в свете некоторых тенденций развития научного познания.— «Известия АН АзССР», серия истории, философии и права, 1972, № 2.
Новик И. Б. О моделировании сложных систем. М., 1965.
Новик И. Б. Об оптимизации воздействия на биосферу.— В сб.: Философские вопросы биокибернетики. М., 1969.
Украинцев Б. С. Самоуправляемые системы и причинность. М., 1972.
Эйлер Л. Метод нахождения кривых линий, обладающих свойствами максимума либо минимума или решение изопериметрической задачи. М.— Л., 1934.

О НЕКОТОРЫХ ПОНЯТИЯХ ТЕОРИИ ОТНОШЕНИЙ

М. М. Новоселов

Теория отношений является одним из наиболее развитых разделов современной математики и логики. Тем не менее, потребность в обсуждении «идеи» отношения, равно как и других идей теории отношений, связанных с вопросами автоматической переработки информации, усиливается под влиянием нарастающего развития семиотической проблематики кибернетики в рамках абстрактной теории знаковых систем — семиотики, в связи с *первостепенной ролью теории отношений в информатике*, в математической лингвистике, в общей теории систем и во многих других сравнительно недавно возникших дисциплинах.

Сложность ответа на вопрос: «что такое отношение?» обусловлена не только тем, что отношение — это абстракция. «Вещи» и «свойства» в неменьшей мере являются результатами абстракции, отражающей гносеологический факт «освоения» мира в соответствии с нашей практикой. И конечно же, каждый из нас «по опыту» кое-что знает об отношениях, имеет о них некоторое содержательное представление. Но, в отличие, например, от абстракции «вещь», абстракция «отношение» входит в «категориальную сеть» мышления, как правило, неконструктивно: об отношениях можно говорить, ими можно пользоваться, но их трудно изучать. По существу

эта трудность была преодолена лишь недавно параллельным развитием формализованных языков логики и алгебры множеств.

Известно, что лучший способ понять и изучить абстракцию — это предварительно формализовать ее, уточнить ее путем построения какой-либо формальной ее модели. Такая модель, если она существует, решает, по крайней мере, две существенно важные задачи: выявляет в наших содержательных представлениях их «конструктивную» часть и «переводит» абстракцию на язык «образов», делая ее своеобразным материальным, хотя по-прежнему и абстрактным, объектом. Формализация, таким образом, не «сама по себе» цель, это — дополнение содержательного рассуждения образом, перевод в наглядное представление чисто абстрактного хода мысли. И это «возвращение» к наглядному уровню познания, когда идеальный характер абстракций игнорируется и они «отождествляются» с наблюдаемыми объектами,— необходимо по существу, чтобы научиться решать задачи, поставленные обычно «вне», но разрешимые, однако, не иначе как «внутри» формализма. Для абстракции отношения языки логики и алгебры множеств служат источником именно таких «наглядных» моделей.

В настоящей статье, помимо некоторых философских замечаний по поводу известных логических и математических «моделей отношений», предлагаются обобщение понятия сравнимости по отношению и описание двух способов разыскания суперпозиции отношений, в основе одного из которых лежит теоретико-множественный «язык сечений», а в основе другого — принцип абстракции.

Логическая модель отношения

«Строгий» подход к определению отношений в точных терминах формальных моделей обязан, в частности, той «нестрогой» философской идее, что представление об отношениях возникает как результат сравнения. Так, сравнение по величине порождает понятие о количественных отношениях, по характеру расположения — понятие о порядковых отношениях, сравнение по участию в материальном производстве — понятие о производственных отношениях.

Аналогично складываются понятия о любых отношениях. Отсюда известный путь, который образно можно назвать «путь снизу вверх», к логически точной характеристике термина «отношение»: если заменить основных «участников» операции сравнения — постоянные объекты, которые мы связываем по некоторому признаку, — переменными логического языка, то результатом этого естественного для логики процесса обобщения окажется новая семема (семантическая единица) — отношение как многоместный предикат, выражаемое на языке логического исчисления высказывательной формой с двумя, или более, переменными.

Индуцированные основанием сравнения признаки в этом случае играют роль «знаков отношений», что вполне соответствует

практике употребления общих имен, согласно которой одно и то же общее имя, в зависимости от того, в какой контекст оно входит, может оказаться или знаком отношения, или знаком свойства, или, наконец, знаком индивидуума. К примеру, имя «отец» в контексте «x отец y» является знаком отношения, в контексте «отец y'ка» — знаком свойства или знаком операции, а в контексте «отец М. Ю. Лермонтова» — частью знака конкретного лица.

Логическая характеристика отношения имеет то преимущество перед теоретико-множественной, о которой речь пойдет ниже, что она «улавливает» интенсиональный аспект отношения, позволяя рассматривать его как некоторое свойство n-ки предметов, безотносительно к тому, каковы элементы этой n-ки, из каких множеств или предметных областей они берутся. Существенно лишь, чтобы соответствующие предикаты были определены на этих множествах. Если, к примеру, $P(x, y)$ определен на $D=\{a_1, a_2, \ldots, a_n\}$, то истинностные значения $P(x, y)$ детерминированы выбором пар $\langle a_i, a_j\rangle$ из D. При этом, конечно, заранее должен быть известен «смысл отношения», иначе мы не смогли бы ответить на вопрос, для какой пары $P(x, y)$ $\langle a_i, a_j\rangle$ истинно, а для какой ложно. Эта заданность, или «предопределенность», смысла означает, что отношения логикой не создаются, а только формализуются.

Многоместные предикаты и отношения часто не различают. С гносеологической точки зрения предпочтительнее, однако, о предикатах говорить как о логических моделях отношений, а о последних — как об абстрактных объектах, для которых наличием *таких моделей решается вопрос их семантической определимости* в соответствующей формальной теории.

Семантическая определимость означает, вообще говоря, возможность «отображения» средствами данной формальной теории тех предметов, или реалий, которые с помощью этой теории изучаются. Другими словами, она свидетельствует о существовании «языковой модели» этих предметов, что уже само по себе является нетривиальным фактом. И если не отождествлять, в отличие от номиналистов, универсалию с ее записью в языке формальной теории, то понятно, что логическая модель отношения и отношение как абстрактный объект — это не одно и то же. Последнее является онтологическим фактом связи элементов множества, первая — высказывательной формой или высказыванием о наличии этой связи между элементами множеств. Вполне естественно говорить об истинности или ложности высказываний об отношениях (предикатов), но неестественно говорить об истинности или ложности отношений.

Алгебраическая модель отношения

Другой путь характеристики отношений, принятый в алгебре множеств, образно можно назвать «путь сверху вниз»: абстрагируясь от интенсиональной природы отношений, от их заведомой смысловой заданности, пользуются простой идеей примера для

индуцирования понятия о каком-либо бинарном отношении, т. е. попросту указывают пары вещей, находящихся в искомом отношении.

Так как отношения, вообще говоря, направлены, эти пары мыслятся упорядоченными, для чего отмечается, какой элемент пары берется первым. Совокупность всех таких пар, составленных из элементов некоторого фиксированного множества вещей — области определения отношения, образует объем искомого отношения. В соответствии с теоретико-множественным «принципом объемности» заданием объема отношения исчерпывается и понятие об этом отношении.

Операциональный прием отождествления отношений с «материальным» способом их задания в виде подмножеств декартовых произведений нашел широкое признание в современной теоретико-множественной математике. Одним из его бесспорных преимуществ является сокращение числа математических сущностей: «погружение» теории отношений в теорию множеств; другим, в качестве следствия первого,— возможность применения теоретико-множественных методов к теории отношений. К слову сказать, преимущества эти не только методологические, отвечающие принципам минимальности аксиоматической базы («бритва Оккама») и простоты теорий, но и гносеологические, многое выясняющие в самой «природе» отношений.

Не следует, однако, думать, что алгебраическая модель отношения универсальна. Ее ограниченность следует, к примеру, из существенной экстенсиональности этой модели: два отношения, определенные на разных базовых множествах, всегда различны, хотя бы интенсионально (логически) они и были бы «одним и тем же» отношением. С другой стороны, интенсионально разные отношения оказываются экстенсионально одним и тем же отношением, если они равны как множества. Эта ограниченность алгебраической модели отношений преодолевается, конечно, подобно другим «существенным» ограниченностям формализмов; но она преодолевается за счет перехода к абстракции более высокого порядка, чем отношение,— к «связке отношений» [Шрейдер Ю. А., 1974], т. е. к классу отношений, согласованных «по одновременной выполнимости» на пересечениях их базовых множеств.

В свое время была замечена [Russel B., 1900] и другая трудность, своего рода апорема, в теоретико-множественной определимости отношений. Как уже говорилось, вместе с понятием пары предполагается и определенный порядок ее элементов: нельзя переставлять элементы в парах совокупности, определяющей отношение, не изменяя, вообще говоря, самого отношения. А это означает по существу неизбежную априорность интенсиональной трактовки по крайней мере одного отношения — отношения порядка. Вскоре, однако, «проблема порядка» в этом смысле была решена сведением отношения порядка к основным теоретико-множественным понятиям: предикату «$\in$», означающему принадлежность эле-

мента множеству, и понятию «множество» [Hessenberg G., 1906]. Позже F. Hausdorff [1914] и C. Kuratowski [1921] определили и понятие пары в терминах теории множеств, что сегодня дает как будто бы повод говорить о сведе́нии «общего понятия отношения к понятию множества» [Френкель А., Бар-Хиллел И., 1966, с. 166].

Уместно все же заметить, что в определении К. Куратовского отношение порядка не используется в определяющем выражении в рамках языка, формализующего понятие пары, но «понятие порядка» неявно появляется при «истолковании» определяющего выражения, когда первый член определяемого выражения, упорядоченной пары $\langle x, y\rangle$, в определяющем выражении «берется дважды» — в первый раз как элемент единичного множества $\{x\}$ и во второй раз как элемент множества $\{x, y\}$. Эта идея «выбора дважды» именно того элемента, который должен быть первым членом упорядоченной пары, существенно не отличается от интуитивной идеи порядка, предписывая каждому случаю составления определяющего выражения один и тот же «закон выбора». К определению Хаусдорфа, в котором по существу используется способ нумерации, это замечание относится в еще большей степени. Таким образом, если не отношение порядка, то по крайней мере идея отношения порядка входит в определяющее выражение, создавая впечатление непредикативности определения или, скорее, гносеологической неполноты редукции. Поэтому вряд ли обоснованно говорить о сведе́нии общего понятия отношения к понятию множества (свойства). Алгебраической моделью формализуется не отношение «вообще», не философская категория «отношение», а всегда некоторое конкретное отношение на данном множестве. И в этом смысле вполне оправдано говорить об относительной идентичности конкретных свойств и отношений, об их взаимоопределимости: отношение можно задавать, вообще говоря бесконечным, набором свойств; с другой стороны, предполагая отношение заданным, можно получать свойства как проекции этого отношения[1].

Сравнимость по отношению. Абстракция сравнимости

Сравнить — это сопоставить «одно» с «другим» с определенной целью: выявить отношения. В сравнении, таким образом, мир постигается как «связное разнообразие». При этом существенны, конечно, даже если это явно не оговаривается, условия, или основания, сравнения — признаки, которые как раз и детерминируют возможные отношения между предметами, обладающими этими признаками. Так, сравнение «по возрасту» детерминирует понятие о трех различных отношениях: «быть сверстником», «быть старше», «быть младше», которые образуют пространство логически возможных отношений между людьми по данному основанию. Если

[1] Свойство элемента x из области (определения) отношения R — это сечение, которое он производит в противообласти R.

выбрать другое основание, то отношения могут измениться. Для основания «состоять в браке» пространство возможных отношений сводится уже к двум отношениям: «муж» и «жена».

Простейший и важнейший тип отношений, выявляемых путем сравнения,— это отношения тождества и различия. Сравнение по объединению этих отношений, в качестве основания, порождает понятие о «сравнимости вообще», т. е. о возможности всегда ответить на вопрос о тождестве и различии. Предметы восприятия, чувственного опыта сравнимы всегда: несравнимые предметы просто нельзя выделить как объекты восприятия, нельзя различить. Предметы мысли, напротив, не всегда сравнимы, так как они представлены в опыте не «сами по себе», а их характеристическими свойствами, но из сравнимости свойств не следует, вообще говоря, сравнимость обладающих этими свойствами предметов. Гипотезу о «сравнимости любых предметов» назвали *абстракцией сравнимости* [Новосёлов М., Лазарев Ф., 1970]. Принимая ее, отвлекаются или от принципиальной невозможности решения, или от «еще нерешенности» на практике указанного выше вопроса. Особенно часто это случается в математике, где абстракция сравнимости является нетривиальным допущением в рамках других математических абстракций.

Операция сравнения имеет смысл только в совокупности «однородных» объектов, т. е. таких, которые образуют класс. Однако такого сведéния «к общему знаменателю» еще недостаточно, чтобы считать все объекты класса сравнимыми по отношениям, определенным на этом классе. Так, хотя по возрасту сравнимы все люди, по отношению «быть старше» сравнимы не все — сверстники не сравнимы. Это различие «в сравнимости» обусловлено тем, что «возраст» — общее свойство всех предметов класса, а «старшинство» — свойство пар только различных предметов из этого класса, связанных отношением «быть старше».

Говоря неформально, отношение — это то, что связывает элементы классов. Некоторые отношения связывают все элементы классов, на которых они определены, некоторые — нет. Например, отношение «x живет на одной планете с y» связывает пока всех людей, а отношение «x родственник y» — не всех. Если в классе, на котором определено R, два различных элемента выполняют предикат $xRy \vee yRx$, то эти элементы связаны отношением R. Если указанный предикат выполняется для всех различных элементов класса, то уже сам класс связан отношением R. В частности, различие связывает любой многоэлементный класс, а самотождественность — только одноэлементные классы.

Сравнимость по данному отношению и связанность данным отношением целесообразно рассматривать как два модуса одного факта. Это важное положение, так как только фиксируя *интервал сравнимости* указанием соответствующего основания, имеет смысл говорить, что далеко не все объекты можно сравнить друг с другом. Ведь иначе уже «сравнимость по несравнимости»

опровергает эту мысль, порождая ситуацию, похожую на ту, с которой мы встретились при теоретико-множественной определимости отношений. К тому же, согласно абстракции сравнимости, объединением тождества и различия связан любой класс, а заключение о связанности какими-либо иными отношениями основывается, вообще говоря, тоже на этой абстракции.

В общепринятом толковании сравнимость есть усиление упорядоченности, поэтому о ней говорят, обычно, когда R порядок, а не любое отношение [Мальцев А. И., 1970; Курош А. Г., 1973]. Мы, однако, попробуем несколько обобщить понимание сравнимости. С этой целью введем два предиката:

1. $\min_R(x) \equiv \{y \mid \overline{yRx}\} = \phi \bigvee \{y \mid yRx\} = \{x\}$,
2. $\max_R(x) \equiv \{y \mid xRy\} = \phi \bigvee \{y \mid xRy\} = \{x\}$.

Эти предикаты мы примем в качестве определений «границ класса», если, конечно, эти границы существуют, по отношению R. Под R мы разумеем в данном случае любое отношение, включая и диагональное (самотождественность), кроме отношений типа равенства в широком (эквивалентность) смысле. Каждый элемент x класса, выполняющий предикат $\min(x)$, принадлежит левой границе этого класса — к классу минимальности ($\{x \mid \min(x)\}$), а каждый элемент x, выполняющий предикат $\max(x)$, принадлежит правой границе этого класса — к классу максимальности ($\{x \mid \max(x)\}$). Не исключено, что $\{x \mid \min(x)\} = \{x \mid \max(x)\}$. Таким образом, в нашем определении элементы класса, базового для R, выполняющие предикаты $\min(x)$ или $\max(x)$ — это соответственно минимальные или максимальные элементы класса, но в более общем, чем обычно принятый, смысле.

Предикаты $\min(x)$ и $\max(x)$ являются «наглядной моделью», с помощью которой мы получаем своего рода обзор гипотез о «сравнимости в классе» по отношению R. Так, все различные минимальные (соответственно максимальные) элементы класса несравнимы между собой по R, но могут быть сравнимы «сами с собой» (если R рефлексивно) и с другими элементами этого класса, отличными от минимальных и максимальных. Каждый минимальный (min) сравним с любым максимальным (max), если R порядок, но для симметричных R min и max несравнимы. С другой стороны, все элементы класса, отличные от min и max, всегда сравнимы по R. Не исключается и изолированность элементов класса, т. е. сравнимость каждого элемента только с самим собой. Для класса D это будет в том случае, если $\{x \mid \min(x)\} = \{x \mid \max(x)\} = D$. В частности, это имеет место для диагонального отношения на любом классе, а $\{x \mid \min(x)\} = \{x \mid \max(x)\}$ для всех симметричных R.

Наше обобщение понятий минимального и максимального элементов обеспечивает рациональную интерпретацию некоторым интуитивным понятиям. Например, по диагональному отношению на любом классе каждый элемент является граничным (min или max)

и (в силу рефлексивности) min и max одновременно. Напротив, отношение различия имеет min и max только в единичном классе, причем в этом случае $\{x|\min(x)\} = \{x|\max(x)\}$, но если $\overline{\overline{D}} \geqslant 2$, то граничных элементов различие не имеет. Это ясно показывает, что в «одноэлементном» мире тождество и различие сами неразличимы, и что понятие об этих отношениях может возникнуть только в мире «различенных» в каком-то смысле предметов, т. е. в некотором данном разнообразии. Последнее, в свою очередь, не только важно для выяснения вопроса «формирования понятий», но и хорошо поясняет диалектику тождества и различия. Одновременно и общезначимость абстракции сравнимости естественно вытекает из одного только смысла сравнимости, основанной на критериях $\min(x)$ и $\max(x)$. Дальнейший анализ показывает также, что дополнением к различию является именно самотождественность (тождество), а не отношение равенства в том его понимании, которое дается в [Новосёлов М. М., 1975].

Мы *исключили из рассмотрения отношения типа равенства*, чтобы подчеркнуть их отличие от диагонального отношения при применении наших критериев сравнимости. Для отношений равенства (эквивалентности) наши критерии годятся лишь с оговоркой, что область значений x — это уже не элементы класса D, а классы абстракции на D по R или, иначе, «обобщенные представители» этих классов. В этом случае истинность предикатов $\min(x)$ и $\max(x)$ зависит уже не от данного частного значения x, как элемента D, а только от определяемой отождествлением по R области изменения x — от класса абстракции, обобщенными представителями которого служат частные значения.

Здесь существенно заметить следующее. Каждому классу абстракции можно сопоставить его «общий» элемент, поскольку «конкретные» элементы D при разбиении по R начинают играть роль «абстрактных» элементов — представителей свойств, общих всем элементам класса абстракции, к которому они принадлежат. Но так как одновременно они являются и конкретными элементами, то возникает типичная *интервальная ситуация* «внутри и снаружи», непротиворечивый выход из которой объясняется тем, что «снаружи», на классах абстракции[2], R — тождество, а «внутри», на множестве D — эквивалентность. Изменение области значений x при использовании предикатов $\min(x)$ и $\max(x)$, когда R равенство, означает, что мы отвлекаемся от различия элементов в каждом классе абстракции и в таком *интервале неразличимости* (фактически в интервале абстракции отождествления, т. е. «снаружи») рассматриваем R как диагональное отношение. Тогда понятия min и max определяются уже не абсолютно, как для других отношений, а относительно представителей «чужих» классов абстракции.

[2] На их абстрактных представителях или на фактормножестве множества D по R.

Мы видим, таким образом, что если фиксировать наши критерии *сравнимости, то отношения равенства должны менять смысл* в зависимости от того, в какой интервальной ситуации они рассматриваются. Но диагональное отношение (самотождественность) инвариантно в любых ситуациях; его «смысл» как бы «над» интервалами абстракций отождествления и неразличимости.

Весьма важно также заметить здесь, что при «интервальном подходе» нет необходимости строить онтологические иерархии «уровней абстракции»: все объясняется относительностью к средствам познания, к способам отождествлений, к контекстам, в которых читается «одна и та же» онтологическая реальность.

Диалектика «абстрактных представителей» и интервальный характер равенства, связанный с ней, впервые, по-видимому, были философски проанализированы автором этих строк [Новосёлов М. М., 1967, 1970, 1975; см. также: Бирюков Б. В., Геллер Е. С., 1973; Виленкин Н. Я., Шрейдер Ю. А., 1974] [3]. Представляется, что вообще при аккуратном философском освещении вопроса об отношениях равенства необходим не только анализ понятий абстрактной алгебры, связанных с этими отношениями, но и анализ интервальных ситуаций, с которыми неустранимым образом связан исчерпывающий ответ на этот вопрос. Достаточно сказать, что применение в познании «законов тождества» существенно зависит от того, какой смысл вкладывается в выражение «один и тот же объект», какими средствами или критериями отождествления при этом пользуются.

Гносеологический характер возникающей при этом ситуации связан с порождением «одного и того же» объекта на основе наших абстракций, благодаря чему ответ на вопрос: «Имеем ли мы дело с одним и тем же или с различным?» ставится в зависимость от того, «вне» или «внутри» соответствующего интервала абстракции мы находимся, давая этот ответ. При этом, однако, далеко не всегда решению вопроса о равенстве «внутри» интервала неразличимости можно противопоставить соответствующее решение «над этим интервалом», т. е. заменить абстракцию неразличимости абстракцией отождествления. Учитывать это обстоятельство, *вызываемое часто вполне объективными причинами*, крайне важно, поскольку нередко оказывается, что свойства объектов, очевидные в одном интервале абстракции, в другом интервале абстракции не сохраняются, не «наследуются». К сожалению, как правило, всем этим пренебрегают. Поэтому до сих пор многие рассуждения, приводящие к парадоксам, и в остальном безупречные, квалифицируются как софизмы, хотя по существу они только демонстрируют интервальный характер связанных с ними гносеологических ситуаций. Так, известный софизм «куча» — это лишь один из «парадоксов транзитивности», возникающих в любой си-

[3] Гносеологически близкая точка зрения, с которой автор этих строк знаком только по ее русскому переводу, высказывается С. К. Клини [1973].

туации «неразличимости». Последняя служит типичным примером интервальной ситуации, в которой свойство транзитивности равенства при переходе от одного «интервала неразличимости» к другому, вообще говоря, не сохраняется, и поэтому принцип математической индукции в таких ситуациях неприменим. Стремление усматривать в этом свойственное опыту «нетерпимое противоречие», которое математическая мысль «преодолевает» в абстрактном понятии числового континуума [Пуанкаре А., 1906], не обосновывается, однако, общим доказательством устранимости подобного рода ситуаций в сфере научного мышления и практики.

О суперпозиции отношений

Возможно, что самым древним источником «житейских» примеров той операции, которую назвали «суперпозицией отношений», являются отношения родства. Суперпозиция возникает здесь весьма естественно и практикуется в повседневном общении до какой-либо математики или логики и независимо от них. Так, всем известные отношения родства «дед» и «бабка» являются суперпозициями отношений «мать» и «отец», а суперпозиция отношений «брат» и «отец» или отношений «брат» и «мать», взятых в порядке написания, порождает также хорошо известное отношение родства «дядя» («брат отца» или «брат матери»). Можно, конечно, умножить число подобных примеров, но, как это нередко бывает, долгая практика лишь сравнительно недавно обрела «теоретическую жизнь» в понятии суперпозиции (произведения, композиции, «наложения») отношений, которое впервые появилось в работах по логике несиллогистических умозаключений, начатых в прошлом веке. Современное определение этого понятия в терминах логики восходит к Г. Фреге, а в терминах алгебры — к еще более позднему времени, когда окончательно была осознана важность теории отношений для логического анализа математических рассуждений [Риге Ж., 1963].

Понятно, что определение суперпозиции отношений естественно связано с «языковой моделью» отношений. В известных нам отечественных монографиях по теории отношения для этого, как правило, используется язык логики, матричный язык или язык графов. В небольшой книжечке французских авторов [Фор Р., Кофман А., Депи-Папен М., 1966], переведенной на русский язык под редакцией А. Н. Колмогорова, используется язык сечений, но и в этой книге для случая суперпозиций упор делается скорее на геометрический язык графов, а не сечений, и хотя и намечаются, но явно не уточняются «шаги», ведущие к разысканию суперпозиции отношений с помощью алгебраического языка сечений. Между тем язык графов слишком связан с пространственной интуицией, с наглядным представлением, которое фактически отказывается служить в области «очень большого» числа стрелок и точек. В этом смысле аналитическое решение на языке сечений

имеет известное преимущество перед графическим [4]. Экспликация аналитического подхода к решению задачи разыскания суперпозиции отношений и предлагается ниже. Рассматриваемые примеры естественно индуцируют идею двух общих методов ее решения, хотя доказательство этому в статье не дается.

Пусть A, B и C — множества и $R_1 \subset A \times B$, $R_2 \subset B \times C$ [5]. В терминологии сечений суперпозицию отношений R_1 и R_2 определяют как отношение $R_2 \cdot R_1$, такое, что для любого $x \in A$ сечение $R_2 \cdot R_1$, по x совпадает с сечением отношения R_2 по $R_1(x)$, что редуцирует $R_2 R_1(x)$ к $R_2(R_1(x))$. В этом определении условия $R_1 \subset A \times B$ и $R_2 \subset B \times C$ указывают на существование суперпозиции $R_2 \cdot R_1$. Иначе, в теоретико-множественных терминах, условие существования суперпозиции можно выразить следующим образом: если существует пересечение множеств A и B, т. е. если $A \cap B \neq \varnothing$, то существует суперпозиция $R_e \cdot R_k$ отношений R_k и R_e, рассматриваемых соответственно как подмножества A и B, для R_k, имеющего $A \cap B$ своей противообластью и для R_e, имеющего $A \cap B$ своей областью. В область суперпозиции $R_e \cdot R_k$ входят те, и только те, элементы области отношения R_k, для которых в области отношения R_e имеются элементы, находящиеся с ними в отношении R_k. В логическом определении суперпозиции отношений это условие выражается явно с помощью квантора, указывающего на существование такого z, что xR_kz и zR_ey имеют место одновременно. При этом подразумевается, что z отождествлен в обоих вхождениях.

Для решения задачи разыскания суперпозиции отношений необходимо, вообще говоря, не только определить условия существования суперпозиции, но и указать «шаги» к ее разысканию, т. е. указать, что необходимо сделать, чтобы суперпозицию отношений можно было бы считать найденной.

Первый предлагаемый в настоящей статье способ разыскания суперпозиции отношений [6] является по существу экспликацией идей книги, упомянутой выше [1966]. Он основан на использовании фактормножеств, в связи с чем условие существования суперпозиции удобнее переформулировать так: если существует фактормножество [7] множества B по R_1 и фактормножество множества C

[4] Сечением, или срезом, отношения R через множество A (что обозначается $R(A)$) называется множество всех таких $x \in B$, каждый из которых находится в отношении R к некоторому элементу множества A. Сечения можно производить не только по всей области (через всю область) отношения R, но и по каждому элементу области (сечение по $x \in A$ обозначается $R(x)$). [Об одном полезном примере использования сечений в логике см.: Кузнецов А., Новоселов М., 1967].

[5] Эта запись означает, что R_1 и R_2 бинарные отношения, т. е. подмножества множеств $A \times B$ и $B \times C$ соответственно, а множества $A \times B$ и $B \times C$ — это множества всех пар элементов, из которых первый принадлежит A (соответственно B для $B \times C$), а второй — B (соответственно C для $B \times C$).

[6] Описания нижеследующих способов вошли в качестве приложения в диссертацию автора [Новосёлов М. М., 1970].

[7] Фактормножеством (противообласти) какого-либо отношения R называется множество сечений отношения по каждому элементу области.

по R_2, имеющим B своей областью, то существует и суперпозиция $R_2 \cdot R_1$ (фактормножество фактормножества множества B по R_1 по $R_2 \cdot R_1$, или, короче, фактормножество множества C по $R_2 \cdot R_1$). Действительно, как отмечалось выше, определение суперпозиции в терминологии сечений редуцирует $R_2R_1(x)$ к $R_2(R_1(x))$. Но $R_2(R_1(x))$ совпадает с таким сечением отношения R_2, когда в качестве секущих элементов (первых членов отношения R_2, или элементов, входящих в область определения R_2) берутся последовательно элементы множества $R_1(x)$ по всем x, входящим в область R_1, или другими словами, элементы членов фактормножества B по R_1. Это возможно, поскольку $R_2 \subset B \times C$. Таким образом, для того, чтобы определить суперпозицию R_2R_1 достаточно рассмотреть члены фактормножества множества B по R_1 и каждое из сечений $R_2(y)$, т. е. все сечения отношения R_2 для тех $y \in B$, которые являются элементами членов фактормножества множества B по R_1. *Элементы каждого члена фактормножества* множества B по R_1 (т. е. каждого члена из множества сечений отношения R_1) полностью определяют — через сечение $R_2(y)$ для этих элементов — соответствующий член фактормножества множества C по R_2R_1 для каждого сечения $R_1(x)$, где x принадлежит области R_1. Фактормножество множества C по R_2R_1, в свою очередь, полностью определяет суперпозицию R_2R_1.

Прежде, чем рассмотреть пример применения общего способа разыскания суперпозиции отношений, который естественно вытекает из того, что было сказано, полезно обратить внимание на следующее: существование суперпозиции $R_2 \cdot R_1$ по определению зависит от существования фактормножества множества B по R_1, а также от существования фактормножества множества C по R_2, имеющим B своей областью, и это может показаться каким-то дополнительным требованием к существованию самих отношений R_1 и R_2. Фактически же, наличие отношений R_1 и R_2 таких, что $R_1 \subset A \times B$ и $R_2 \subset B \times C$, эквивалентно этому условию. Достаточно в запись отношения как подмножества множества пар включить пару $(x, \varnothing)$, где $\varnothing$ — пустое множество элементов B[8], а x — некоторый элемент из A, в том случае, конечно, когда сечение $R_1(x)$ пусто, чтобы убедиться, что представление отношения через соответствующее ему фактормножество с помощью сечений легко преобразуется в представлении *этого же отношения с помощью пар, и наоборот.* Таким образом, если нам задано отношение как подмножество множества $M \times N$, то простым преобразованием этой записи в запись сечений, без помощи таблиц и стрелок, мы легко получаем фактормножество множества E по N. Например, из записи отношения R в виде множества упорядоченных пар $\{\langle a_1,b_1\rangle, \langle a_1,b_3\rangle, \langle a_2,b_1\rangle, \langle a_2,b_3\rangle, \langle a_2,b_4\rangle, \langle a_3,b_1\rangle, \langle a_3,b_2\rangle, \langle a_3b_4\rangle, \langle a_5b_2\rangle, \langle a_5b_4\rangle\}$, включая в эту запись пару

[8] Эта запись используется для сокращения выражений, что облегчает переход к записи сечений. Более аккуратным было бы выписывание всех таких пар, для которых $R_1(x)$ пусто, а ϕ — пустой элемент из B.

$\langle a_4, \varnothing \rangle$, где $\varnothing$ — пустое множество элементов из B, простым иным — без повторений — указанием соответствия между каждым элементом из A и элементами из B получаем запись этого же отношения с помощью сечений:

$$\begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ \{b_1, b_3\} & \{b_1, b_3, b_4\} & \{b_1, b_2\} & \{\phi\} & \{b_2, b_4\} \end{bmatrix},$$

где нижняя строка представляет фактормножество множества B по R.

Рассмотрим, к примеру[9], множества $A = \{a_1, a_2, a_3, a_4, a_5\}$, $B = \{b_1\ b_2\ b_3\ b_4\}$, $C = \{c_1\ c_2\ c_3\}$ и отношения $R_1 \subset A \times B$ и $R_2 \subset B \times C$, такие, что $R_1 = \{\langle a_1, b_1\rangle, \langle a_1, b_3\rangle, \langle a_2, b_1\rangle, \langle a_2, b_3\rangle, \langle a_2, b_4\rangle, \langle a_3, b_1\rangle, \langle a_3, b_2\rangle, \langle a_3, b_4\rangle, \langle a_4, \varnothing\rangle, \langle a_5, b_2\rangle, \langle a_5, b_4\rangle\}$ и $R_2 = \{\langle b_1, c_2\rangle, \langle b_2, c_1\rangle, \langle b_2, c_2\rangle, \langle b_3, c_3\rangle, \langle b_4, c_3\rangle\}$.

Найдем фактормножество множества B по R_1, и фактормножество множества C по R_2, представив их в записи сечений:

$$R_1(A) = \begin{bmatrix} a_1 & a_2 & a_3 & a_4 & a_5 \\ \{b_1, b_3\} & \{b_1, b_3, b_4\} & \{b_1, b_2, b_4\} & \{\phi\} & \{b_2, b_4\} \end{bmatrix}$$

$$R_2(B) = \begin{bmatrix} b_1 & b_2 & b_3 & b_4 \\ \{c_2\} & \{c_2, c_1\} & \{c_3\} & \{c_3\} \end{bmatrix}.$$

Фактормножество множества C по R_2R_1, определяющее суперпозицию R_2R_1, находим следующим образом: ищем сечение $x = a_1$, определяющее подобласть противообласти отношения R_2R_1 по a_1[10], для чего последовательно попарно сравниваем члены из $R_1(A)$ и из $R_2(B)$ по признаку «замыкания пар». Например, рассмотрим пару

$$\left\langle \begin{matrix} a_1 \\ \{b_1, b_3\} \end{matrix} , \begin{matrix} b_1 \\ \{c_2\} \end{matrix} \right\rangle.$$

Для этой пары выполняется условие $b_1 \in \{b_1, b_3\}$, т. е. верхний элемент второго члена пары может быть отождествлен с одним из нижних элементов первого члена пары. В этом случае будем говорить, что a_1 замыкается на c_2 через b_1 и $\{b_1, b_3\}$.

Рассмотрим далее пару

$$\left\langle \begin{matrix} a_1 \\ \{b_1, b_3\} \end{matrix} , \begin{matrix} b_2 \\ \{c_2, c_1\} \end{matrix} \right\rangle.$$

[9] Исходные данные этого и всех других приводимых далее примеров (но не их решение!) заимствованы из кн. [Фор Р., Кофман А., Дени-Папен М., 1966].

[10] В теории отношений с каждой парой из множества $A \times B$ связывают две проекции, одну — на множество A (ею является первый член пары), другую на множество B (ею является второй член пары). Если $R \supset A \times B$, то проекцией R на A называют множество тех $x \in A$, которые являются проекциями элементов R на A. Проекция R на A определяет область определения R. Сечение R (A) определяет противообласть R, а сечение $x = a_1$, где $a_1 \in A$ — подобласть противообласти R по a_1.

Так как условие $b_2 \in \{b_1, b_3\}$ не выполняется, то в этом случае будем говорить, что a_1 через b_2 и $\{b_1, b_3\}$ замыкается на $\varnothing$.

Для пары

$$\left\langle \begin{matrix} a_1 \\ \{b_1, b_3\} \end{matrix} , \begin{matrix} b_3 \\ \{c_3\} \end{matrix} \right\rangle$$

имеем $b_3 \in \{b_1, b_3\}$, поэтому a_1 через b_3 и $\{b_1, b_3\}$ замыкается на c_3.

Для пары

$$\left\langle \begin{matrix} a_1 \\ \{b_1, b_3\} \end{matrix} , \begin{matrix} b_4 \\ \{c_3\} \end{matrix} \right\rangle$$

$b_1 \in \{b_1, b_3\}$, т. е. a_1 через b_4 и $\{b_1, b_3\}$ замыкается, как и во второй паре, на $\varnothing$. Поскольку перебор закончен (исчерпаны все верхние элементы сечения $R_2(B)$), в качестве первого члена фактормножества множества C по R_2R_1 для $x=a_1$ получаем $\{c_2, \varnothing. c_3, \varnothing\} = \{c_2, c_3, \varnothing\} = \{c_2, c_3\}$. Аналогично находим сечения $x=a_2$, $x=a_3$, $x=a_4$, $x=a_5$, *определяющие подобласти противообласти* отношения R_2R_1 соответственно по a_2, a_3, a_4, a_5. Множество всех этих сечений, включая конечно сечение $x=a_1$, и является фактормножеством множества C по R_2R_1, вполне определяющим суперпозицию R_2R_1.

Абстрагируясь от «индивидуальных» характеристик рассмотренного примера и обобщая анализ этого примера, нетрудно получить описание способа разыскания суперпозиции отношений в общем виде. Собственно, этим «способом сравнения по признаку замыкания пар» уточняются шаги, ведущие к представлению суперпозиции с помощью сечений, и он наглядно демонстрирует насколько результат его применения — суперпозиция отношений — зависит от применяемой на каждом таком шаге абстракции отождествления.

В основе второго предлагаемого в настоящей статье способа разыскания суперпозиции отношений лежит идея «обобщенных» (абстрактных) представителей классов абстракции, о которых уже говорилось. Этот метод также связан с представлением отношений в виде подмножества множества пар, но он проще первого метода.

Пусть R_1 и R_2 — отношения, записанные как подмножества множества пар, и такие, что выполняются необходимые и достаточные условия существования суперпозиции R_2R_1. Разобьем все элементы первого отношения R_1 на классы абстракции так, чтобы в один класс попали только те пары, первые члены которых совпадают. Таким образом, элементы (пары) каждого класса абстракции «внутри» класса могут различаться только вторыми членами. Каждому классу абстракции, полученному таким путем, сопоставим *класс таких пар второго отношения* R_2, *у которых первый член* пары совпадает (может быть отождествлен) со вторым членом хотя бы одной пары (элемента) класса абстракции. В случае, когда таких пар нет, ставим в соответствие классу абстракции пустое множество. В соответствии с идеей «абстрактных представителей»

каждый класс абстракции при записи с помощью сечений может быть представлен первым членом любой входящей в него пары. Свертывая теперь в множества вторые члены каждого из элементов подмножеств отношения R_2 соответствующих, как указано выше, представителям классов абстракции, получим фактормножество, полностью определяющее суперпозицию R_2R_1.

Пример. Пусть R_1 и R_2 — отношения такие, что $R_1=\{\langle a, a\rangle, \langle a, c\rangle, \langle b, b\rangle, \langle b, c\rangle, \langle b, d\rangle, \langle c, a\rangle, \langle c, d\rangle\}$ и $R_2=\{\langle a, b\rangle, \langle b, d\rangle, \langle b, e\rangle, \langle c, b\rangle, \langle d, c\rangle, \langle d, e\rangle\}$. Требуется найти суперпозицию R_2R_1. Применяя описанный только что метод, находим фактормножество множества C по R_2R_1 [11], определяющее искомую суперпозицию:

$$\begin{bmatrix} a & b & c \\ \{b\} & \{b, c, d, e\} & \{b, c, e\} \end{bmatrix}.$$

В заключение необходимо отметить, что второй способ разыскания суперпозиции отношений, по мнению автора, обладает рядом преимуществ перед первым и другими способами. Во-первых, в отличие от первого способа он позволяет обходиться без довольно-таки сложного языка сечений, так что для его усвоения не требуется никакой предварительной подготовки; во-вторых, он допускает краткую общую формулировку; в-третьих, в отличие от метода графов, связанного с наглядным представлением, он кажется более надежным [12].

Литература

Бирюков Б. В., Геллер Е. С. Кибернетика в гуманитарных науках. М., 1973.

Виленкин Н. Я., Шрейдер Ю. А. Понятия математики и объекты науки.— «Вопросы философии», 1974, № 2.

Клини С. К. Математическая логика. М., 1973.

Кузнецов А. В., Новосёлов М. М. Ограничение третьего понятия.— Философская энциклопедия, т. 4. М., 1967.

Курош А. Г. Лекции по общей алгебре. М., 1973.

Мальцев А. И. Алгебраические системы. М., 1970.

Новосёлов М. М. Принцип абстракции.— Философская энциклопедия, т. 4. М., 1967.

Новосёлов М. М. Принцип абстракции, понятие тождества и «правило Лока». (Автореф. канд. дисс.) М., 1970.

Новосёлов М. М. Тождество.— Философская энциклопедия, т. 5. М., 1970.

Новосёлов М. М. Равенство.— Большая Советская Энциклопедия, т. 21. М., 1975.

Новосёлов М. М., Лазарев Ф. В. Сравнение.— Философская энциклопедия, т. 5. М., 1970.

[11] Предполагается, что $R_1 \subset A \times B$ и $R_2 \subset B \times C$. Впрочем, это предположение, как и вызвавшая его последняя фраза, для применения этого метода не нужны.

[12] *Для последнего утверждения есть весьма скромное основание: сравнение* результата, полученного нами, с результатом решения этой задачи в той книге, из которой этот пример заимствован, показывает, что авторами книги, которые пользовались графическим методом, допущена ошибка. Рис. 12 на стр. 25 русского перевода указанной книги необходимо исправить в соответствии с нашим результатом.

Пуанкаре А. Ценность науки. М., 1906.
Риге Ж. Бинарные отношения, замыкания, соответствия Галуа — Кибернетический сборник, № 7. М., 1963.
Фор Р., Кофман А., Дени-Папен М. Современная математика. М., 1966.
Френкель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. М., 1966.
Шрейдер Ю. А. Логика знаковых систем. М., 1974.
Hausdorff F. Grundzüge der Mengenlehre. Leipzig, 1914.
Hessenberg G. Grundbegriffe der Mengenlehre.—«Abhandlungen der Fries' schen Schule» 1, Hft. 4. Göttingen, 1906.
Kuratowski C. Sur la notion de l'ordre dans la théorie des ensembles.— «Fundamenta mathematicae», 1921, t. 2.
Russel B. A critical exposition of the philosophy of Leibniz. Cambridge, 1900.

Раздел III

ПОЗНАВАТЕЛЬНЫЕ ВОЗМОЖНОСТИ «ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»

АКТУАЛЬНЫЕ ПРОБЛЕМЫ ТЕОРИИ «ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА»

В. С. Тюхтин

Постановка вопроса

В последнее десятилетие интерес к проблеме искусственного интеллекта снова возрос. Но исследования этой проблемы отличаются от работ 50-х годов иной целевой установкой. Вместо ориентации на возможность замены интеллекта человека так называемым *искусственным* (*машинным*) *интеллектом господствующей* стала *стратегия усиления естественного интеллекта искусственным*. Ее можно сформулировать в такой форме: максимально *расширять возможности машинного моделирования психических* свойств человека, возможности автоматических систем по переработке информации и решению более сложных задач; все это необходимо для оптимального синтеза функций человека и машины, т. е. для создания автоматизированных систем управления различного *назначения и сложности*. *Такая переориентация* объясняется не только и не столько насущными требованиями технического прогресса, производственной практики, сколько наиболее трезвой оценкой возможностей и трудностей моделирования психических функций животных и человека.

В разработке проблемы искусственного интеллекта выделились два основных подхода: в первом направлении исследований делается *акцент на заимствовании* принципов и алгоритмов преобразования информации у живых систем; такой подход можно назвать *бионическим*. *Во втором, кибернетическом направлении главное* внимание обращается на эквивалентность результатов решения тех или иных типов задач живыми системами и искусственными устройствами, но сами решения осуществляются иными путями, средствами, приемами обработки информации, иными методами.

Вместе с тем и бионическое, и кибернетическое направления моделирования подчиняются единым гносеологическим принципам, требованиям к переработке информации; а нередко они имеют и общие принципиальные схемы или программы ее преобразования и принятия решений, хотя реализуются эти требования и программы различными средствами и частными методами. Именно поэтому,

видимо, главные усилия специалистов по проблеме искусственного интеллекта направлены на изучение таких информационных программ принятия решений и распознавания образов, которые были бы в основном одинаковыми для естественного и искусственного интеллекта [см., например: Рейтман У., 1968; Нильсон Н., 1973]. В последнее время было выяснено, что теория искусственного интеллекта кроме общей теории эвристического программирования (поиска), общей теории обучения и распознавания образов должна включать в качестве ее важнейшего элемента теорию моделирования и программного описания внешней среды, внешнего мира [см., например: Поспелов Д. А., Пушкин В. Н., 1972, гл. 10].

Для создания общей теории интеллекта главное заключается не столько в полноте охвата функций интеллекта, которые будут представлены все новыми разделами учения об интеллекте, сколько в необходимости перехода ко все более глубинным уровням осуществления интеллектуальной деятельности и математизации соответствующих знаний об интеллекте. Тогда теория искусственного интеллекта будет той частью общей теории интеллекта, которая поддается математизации и технической реализации. Ясно, что эта часть будет расширяться. Поэтому главная методологическая проблема теории искусственного интеллекта заключается в определении принципиальных возможностей и границ (разумеется, если таковые существуют), а также реальных перспектив машинного интеллекта.

Под *интеллектуальной деятельностью* обычно разумеются те психические способности и процессы, которые прямо или косвенно составляют процесс творческого мышления субъекта, реализующего свои цели при взаимодействии с теми или иными объектами (материальными или идеальными).

Подход к проблеме так называемого искусственного (машинного) интеллекта более эффективен в том случае, если трактовать содержание интеллекта в возможно более конструктивной форме, позволяющей продвигаться вперед, выявлять все новые свойства и функции интеллекта, описывать их в математической форме.

Конструктивное определение интеллекта и соответствующий подход к его изучению были выработаны в результате длительного пути развития философии, психофизиологии, психологии и особенно кибернетики.

У классиков отечественной психофизиологии — у И. М. Сеченова [1952] и И. П. Павлова [1949] — такой конструктивный подход к мышлению животных и человека состоит в следующем. *Мышление в широком смысле* рассматривается как *способность живых существ решать задачи*, начиная от элементарных поведенческих задач вплоть до сложнейших теоретических. В современной кибернетической литературе такая точка зрения стала господствующей при моделировании тех или иных сторон психических функций человека и животных. Такой подход был расширен на область кибернетических устройств и положен в основу так назы-

ваемого машинного интеллекта. Обоснование такого расширения составляет также методологическую проблему.

Итак, под способностью системы решать те или иные задачи понимается мышление в широком и собственном смысле слова, т. е. применительно к ориентировочной сигнально-информационной деятельности животных и к мышлению (наглядно-образному и дискурсивному) человека. А *интеллект есть способность системы решать творческие задачи*, т. е. такие задачи, результаты и (или) средства и способы решения которых не имелись в ее прошлом опыте; эти результаты и средства выработаны системой заново [1] при взаимодействии ее с объектами (в частности, составляющими условия задачи) и при использовании, преобразовании прошлого опыта.

В психологии мышления различаются творческие и нетворческие (репродуктивные) задачи [см., например, Пономарев Я. А., 1960], творческие и нетворческие элементы в решениях задач. Фактически любой процесс мышления содержит творческие элементы; поэтому делить задачи на творческие и нетворческие имеет смысл в связи с преобладанием творческих или репродуктивных элементов.

При данных выше определениях мышления и интеллекта нахождение животными пищи, укрытий, обход препятствий на пути к цели и вообще любые ориентировочно-поисковые реакции,— все это можно рассматривать как решение соответствующей задачи. В поведенческих и практических задачах действия решающей системы имеют непосредственно-предметный характер, т. е. направлены на материальные предметы, составляющие условия задачи. А в теоретических задачах эти действия имеют характер умственных операций с идеальными объектами.

Каковы основные преимущества такого определения интеллекта, интеллектуальной деятельности?

Во-первых, оно является весьма общим, подводя под категорию интеллектуальных решающих систем не только людей, но и животных, охватывая широкий диапазон задач от простейших поведенческих до сложнейших теоретических и практических задач.

Во-вторых, это определение интеллекта имплицитно (как будет показано ниже) содержит в себе основные критерии и признаки отличия интеллектуальных процессов и систем от неинтеллектуальных. Оно в синтетически-общей форме содержит основные ориентиры, определяющие общее направление изучения интеллекта и пути его моделирования и формализации.

В-третьих, это определение и подход к творческому мышлению позволяет выяснить степень близости тех или иных информационных систем к категории интеллектуальных по характеру и успешности решаемых ими задач.

[1] При этом термины «новое», «новизна» и т. д., трактуются в психологическом, а не в социологическом и социально-культурном аспекте.

Наконец, такая трактовка интеллекта вплотную подводит к постановке проблемы так называемого искусственного (машинного) интеллекта в собственном смысле в отличие от его расширительного понимания как машинного моделирования любых психических свойств и процессов.

Систему искусственного интеллекта в первом приближении определим как технически реализуемую систему, которая способна, участвуя в решении задачи, получать новые способы или результаты решения, не содержащиеся в ее накопительном устройстве («памяти»). Степень и характер участия искусственной системы в решении задачи выяснится в ходе дальнейшего анализа. Данное определение искусственного интеллекта предполагает не тождество процессов решения с процессами в живых системах, а идентичность результатов решения. При этом существенно, чтобы схемы процессов и результаты переработки информации в искусственных системах отвечали бы тем же гносеологическим и логическим требованиям, имели бы те же гносеологические характеристики, которые присущи процессам и результатам психической деятельности человека. Иначе говоря, информационные процессы в системах естественного и искусственного интеллекта при различии их материального субстрата и конкретных свойств должны быть гносеологически и логически эквивалентны. И вопрос о сходстве природы систем естественного и искусственного интеллекта зависит от возможностей реализации в них логических и особенно гносеологических требований. Например, современные ЭВМ (как увидим ниже) не реализуют семантическую характеристику в сигнально-информационных процессах.

Общий подход к проблеме искусственного интеллекта можно сформулировать следующим образом. Те свойства и функции человеческого интеллекта, творческого мышления, которые могут быть формализованы, включая математическую и логическую формализацию, и алгоритмизированы, в принципе могут быть моделированы техническими устройствами. Это — различные технические модели, имеющие разные виды сходства с системами естественного интеллекта. Таковы модели, реализующие сходство их строения, сходство поведения (функций на выходе), структурно-функциональное сходство (т. е. сходство строения, внутреннего функционирования и поведения), информационные модели, имеющие сходство в схемах переработки информации в логико-гносеологическом плане.

Сходство модели и оригинала описывается в виде идентичных математических выражений на языке той или иной математической структуры (метода). Лишь тождество субстратов выражается в словесной форме или посредством принятых обозначений. Те факторы, особенности, свойства, которые не «схватываются» в математической форме, не представимы и в моделях тех или иных психических функций. Поэтому важно выяснить: какие именно факторы, моменты, особенности естественного интеллекта

не «схватываются» математически, не моделируются в концепциях, схемах, методах «искусственного интеллекта»? В какой мере существенны (несущественны) эти различия? Ответы на эти вопросы мы начнем с обсуждения принципиальных возможностей математизации и, в частности, математизации знаний о психике человека.

Уровни математизации знания и проблема «искусственного интеллекта»

Прогресс в приложениях чистой математики в той или иной области знаний, процесс математизации знаний свидетельствуют, во-первых, об относительности содержательного и формального анализа; во-вторых, о неполноте формализации, математизации; в-третьих, об отсутствии принципиальных ограничений или «запретов» математизации знаний. Эти три положения можно достаточно просто объяснить и обосновать на основе системно-структурного подхода к познаваемым объектам, трактовка сущности которого изложена нами в работе [1972, гл. I].

Факт относительности и единства содержательного и формализованного подходов легко уяснить на примере прогресса в теоретической физике, когда с каждым новым шагом теоретическая физика все больше становилась математической физикой. Знание о тех свойствах и состояниях веществ, которые на одном этапе либо не поддавались математическому описанию, либо это описание носило внешний, феноменологический характер, на другом этапе познания теоретическое отображение этих свойств приобретало соответствующую математическую форму (в виде уравнений, неравенств, таблиц, графиков и т. п.). Так, вначале, до создания динамической (математической) теории кристаллической решетки свойства пластичности и твердости рассматривались на чисто содержательном и вместе с тем эмпирическом уровне. Взаимные связи этих свойств с температурой, давлением и другими величинами имели характер феноменологической зависимости и описания. В современной теории твердого тела эти свойства описываются соответствующими уравнениями; они рассматриваются как функции организации и состояния кристаллической решетки. Дальнейшее углубление в содержание этих свойств связано с исследованиями и описаниями атомарного механизма пластической деформации и разрушения.

В общем виде любые собственные свойства объекта (как системы зависят: (1) от системообразующих свойств компонентов системы, (2) от состава системы, (3) от совокупной структуры системы, которая включает в себя законы композиции, описывающие связи и отношения между компонентами, между подсистемами, между уровнями системы. Причем компонентами системы могут быть не только вещи, но также связи и отношения, качественные состояния, этапы, фазы функционирования и развития, отдельные свойства.

Если система многоуровневая (а большинство объектов имеет именно такой характер), то в пределах каждого уровня системы математизации подлежит: состав и структура системы, а также отображение степени интенсивности свойств и связей (отношений) при условии, если свойства и связи имеют метрический характер и поддаются количественному измерению. Если же эти свойства и связи неметризуемы (таковы логические свойства и связи, ряд биологических свойств), то структуры, описывающие данный объект, приобретают характер качественных структур. Эти качественные структуры объектов описываются с помощью качественных методов (или структур) математики, таких, как топологические структуры, категории и функторы и др. Но в пределах каждого уровня анализа знания о самих компонентах как неделимых единицах системы и о их свойствах остаются нематематизированными, неформализованными, т. е. имеют содержательный характер. Однако на уровне микроанализа этих компонентов (и их свойств), когда они выступают как расчлененные целые, как системы, открывается *возможность для их математизации*, т. е. *для выражения их в виде* качественных или количественных структур. К этому уровню анализа относится сказанное выше.

Таким образом, при математизации любого уровня знания об объекте всегда имеет место некоторый неформализуемый «остаток», выраженный нами содержательно. Этот «остаток» в принципе можно формализовать на уровнях микроанализа объекта, что и представляет собой переход от содержательного к формальному и в чем выражается их относительность. Наконец, переход к математическому описанию на уровне микроанализа свидетельствует о том, что математическое описание есть описание *содержания* объекта (всех его свойств, характеристик) с помощью структур данного уровня организации, выражаемых на математическом языке. А переход к раскрытию сущности разных порядков означает переход к более богатым, глубоким и специфическим структурам объекта.

Обоснование положения об отсутствии принципиальных ограничений в *формализации знаний о любых объектах вытекает из* универсальности системного подхода к познаваемым объектам, т. е. из возможности представления любых объектов как систем и из принципиальной возможности выражения любых их свойств с *помощью структур соответствующего уровня организации* объектов [см.: Тюхтин В. С., 1972, с. 28—38; Урманцев Ю. А., 1972].

Если оценить состояние математизации наших представлений о человеческом мышлении и интеллекте с точки зрения изложенных положений, то станет ясным, почему формально-логический аспект мышления представлен в наибольшей степени. Среди множества наук о человеке и его мышлении логические структуры, изучаемые формальной (математической) логикой, находятся на более абстрактном уровне исследования интеллекта, нежели психологические и психофизиологические структуры. Сопоставим пси-

хологию и логику с точки зрения факторов и связей, которые они учитывают и от которых абстрагируются. Психология (в отличие от гносеологии) учитывает содержание знаний косвенно, лишь с точки зрения его характера и роли для индивида-субъекта. Ее интересуют не общечеловеческие формы и способы преобразования знания, а те механизмы и процессы, которые зависят от строения материального носителя мышления — мозга и органов чувств, индивидуальные способности и опыт субъекта, состояния его психики и окружающие природные и социальные условия его мыслительной деятельности. Формальная логика рассматривает лишь внешние фиксированные в языковой форме общечеловеческие нормативы и формы правильного мышления, отвлекаясь от конкретного содержания, от строения, способностей, состояния, опыта индивида-субъекта, от условий его деятельности и т. д.

Однако *реальная познавательная деятельность, творческое мышление реализуется в единстве всех психических способностей субъекта и всех связанных с ними факторов.* И ясно, что кроме абстрактной формально-логической стороны творческого мышления для его постижения требуется раскрыть все уровни деятельности, все способности и свойства субъекта. Современные попытки ограничиться макроуровнем информационных процессов, либо моделями формальных нейронных сетей не приводят к эффективным результатам. Все, что не поддается формализации, математизации, объявляется достоянием чувственной или интеллектуальной интуиции. Эту ситуацию в довольно резкой форме оценивает М. Бунге: «Интуиция — коллекция хлама, куда мы сваливаем все интеллектуальные механизмы, о которых не знаем как их проанализировать или даже как их точно назвать» [Бунге М., 1967, с. 93]. К интуиции относят многие феномены сознания, в частности, следующие: быстрое распознавание воспринимаемых предметов; способность интерпретации искусственных знаков; геометрическая интуиция, т. е. способность строить наглядные схемы и модели ненаглядных объектов; способность к аллегориям и метафорам; художественное воображение и научная фантазия; свернутое и ускоренное умозаключение; здравый смысл, очевидность и здравое суждение (оценка с точки зрения «практической мудрости»); вдохновение; акты «озарения», синтезирующие разрозненные попытки решения задач, а также способность генерировать гипотезы и другие характеристики человеческой психики. Даже среди перечисленных значений термина интуиции кроме положительных значений встречаются имеющие характер предрассудков (здравый смысл, самоочевидность, здравое суждение), которые часто подводят ученых. Если же проанализировать положительные феномены интуиции, что делает М. Бунге [1967, разд. 3], то не трудно усмотреть, что все они являются разными формами проявления активности субъекта.

Активность субъекта присуща всем трем основным функциям и сторонам сознания, поэтому элементы и формы активности следует распределить по этим трем функциям. Во-первых, это — актив-

ность отражательной или познавательной функции; во-вторых, это — активность управляющей (регулирующей) функции сознания, которая связана с проблемой воли и произвольных, т. е. психически регулируемых, действий; в-третьих, это — мотивационная сторона сознания, связанная с совокупностью потребностей и интересов, эмоций и чувств, желаний и стремлений стимулирующая активность сознания в целом.

Среди элементов и форм активности наиболее определяющая роль принадлежит ориентировочным познавательным потребностям, интересам и чувствам, а в известной мере эстетическим и этическим потребностям и чувствам. В сфере решений познавательных задач при анализе интеллектуальной деятельности этот глубинный *уровень активно-потребностного начала* нашего мышления нелегко выявить, а тем более исследовать его сущность и выразить в математической, структурной форме.

Осознавая существующий разрыв между естественным интеллектом и разработкой искусственного интеллекта, И. А. Полетаев замечает: «Перед исследователем искусственного интеллекта как будто выросла стена, невидимая, но прочная, и пока что не видно, как ее можно преодолеть...». Моделирование психических процессов, по мнению автора, должно быть направлено «не только на имитацию результатов, но и на изучение структуры психических процессов восприятия, распознавания, классификации, выбора, оценок, принятие решения и т. д.» [1971, с. 18].

Но главный шаг по продвижению вперед в разработке искусственного интеллекта должен, на наш взгляд, идти по линии исследования глубинных психических структур — структур активности разных форм и уровней.

Понятие об активности разума, интеллекта издавна эксплуатировалось в концепциях теории познания, психологии и в других науках о человеке; и в настоящее время активность справедливо считается существенной прерогативой интеллекта. В проблемном обзоре подходов к изучению «искусственного разума» М. Минский пишет: «Для меня «интеллект» означает едва ли больше, чем комплекс активности, который мы уважаем, но не понимаем» [1967, с. 453]. И современное машинное моделирование мышления, в частности, эвристическое программирование, пока не идет дальше разработки более или менее высокого макроуровня программ переработки информации. «Но все, что они делают, сводится к инструкциям типа «если то-то и то-то, следует перейти к такой-то и такой-то подпрограмме» [1967, с. 453]. И если мы посмотрим на подпрограммы низшего уровня, продолжает М. Минский, «то увидим бесчувственные связи-циклы и последовательности тривиальных операций, лишь выполняющие то, что им приказано. Интеллект в такой системе оказывается... неосязаемым». И автор заключает: «Для человека так же, как и для машины справедливо, что если мы поймем до конца структуру и программу, ощущение тайны... исчезнет» [1967, с. 453].

Последнее положение можно принять с тем условием, если главные усилия направить именно на исследование структур психической активности более глубинных уровней и многообразных форм. Идя в этом направлении, можно раскрыть тайну интеллекта.

Элементы интуиции в интеллектуальной деятельности

Под элементами интуиции ниже будут подразумеваться те моменты (свойства, операции, реакции) интеллектуальной деятельности, которые, во-первых, представляют собой специфические формы активности познающего субъекта и, во-вторых, не поддаются на данном этапе исследования мышления формализации, математизации. Элементы интуиции присущи всем психическим способностям; они обнаруживаются на трех основных этапах решения задач — на этапе постановки задачи, этапе выработки плана *решения и, наконец, на этапе материальной интерпретации* и проверки.

Прежде чем выявлять интуитивные моменты на этих трех этапах, рассмотрим основные уровни и аспекты анализа мыслительной деятельности, которые следует учитывать на каждом этапе решения задач. К этим уровням и вместе с тем аспектам анализа мыслительной деятельности относятся следующие: психофизиологический, психологический, гносеологический, логический уровни и уровень информационных программ. Чтобы понять характер и «меру» абстрактности каждого уровня анализа мышления, перечислим все те элементы, которые составляют живой, конкретный процесс мышления как способности решать любые задачи. К элементам, или факторам, которые необходимо учитывать при анализе мышления, можно отнести следующие:

Проблемная ситуация, или ситуация задачи.

1) *Условия задачи*: (а) *материальные предметы, составляющие* условия экспериментальной или практической задачи, либо абстрактные объекты (и их связи), образующие условия абстрактно-теоретической задачи; (б) внешняя обстановка, образующая общий ориентировочно-информационный фон субъекта;

2) цель задачи и зависящие от нее модели и критерии отбора;

3) непосредственные внешние (физические) условия актов мыслительной деятельности субъекта;

4) социальные условия мышления субъекта.

Организация субъекта и содержания его опыта.

5) Анатомо-физиологическая организация (строение, свойства, функции центральной нервной системы), определяющая основные характеристики психо-физиологической организации;

6) психо-физиологическая организация, определяющая психические свойства и функции (способности, потребности, интересы, *желания, чувства, навыки, привычки*), *характеризуется* принципами, законами, схемами деятельности анализаторов. При этом (в отличие от чисто физиологического анализа) учитываются: ха-

рактер (а не конкретное содержание) взаимодействия субъекта со средой и условиями задачи; косвенно и частично учитывается содержание продуктов психической деятельности (см., например, опыты лабораторий И. П. Павлова по изучению высшей нервной деятельности человека и животных). Заметим, что пока еще мало данных о наложении «узора» психических явлений на физиологическую «канву», так как еще недостаточно выяснены принципы и механизмы кодирования психических явлений в коре мозга.

7) психическая организация субъекта: (а) законы и схемы, раскрывающие связи между: психическими свойствами субъекта, его взаимодействиями с внешними объектами, отображениями объектов и собственных действий; (б) содержание и организация прошлого опыта (памяти); этот опыт состоит из отражений внешнего мира и системы отдельных действий и программ действий;

8) гносеологическая организация прошлого опыта, раскрывающая связи между отображенными объектами, между способами их познания и преобразования;

9) *логическая организация прошлого опыта*, раскрывающая логические связи между фрагментами опыта с точки зрения формального вывода и доказательства.

Внутреннее психическое и психофизиологическое состояние (в данный момент или промежутки времени). Оно имеет следующие компоненты:

10) распределение активности, т. е. актуализация тех или иных ориентировочных потребностей, интересов и критериев отбора реакций. Это определяет направленность, избирательность интеллектуальной деятельности;

11) в нейрофизиологическом аспекте это — распределение доминантных очагов активности головного мозга субъекта;

12) актуализация прошлого индивидуального опыта под влиянием актуальных потребностей, целей и характера задач.

Перечисленные элементы (факторы) *мышления конкретного* социально-исторического индивида-субъекта определяют организацию его реальной деятельности по решению задач.

Анализ мышления на уровне информационных процессов и программ (в частности, при эвристическом программировании) объединяет отдельные элементы гносеологического и логического уровней при математическом описании схем преобразования информации в соответствии с теми или иными типами задач [Рейтман У., 1968]. Формами такого описания являются, например, языки списков, векторов, теории графов, комбинаторного анализа, представлений в пространстве состояний и т. д.

Анализ мышления на логическом и информационном уровнях схватывает лишь *операционно-синтаксическую сторону мышления,* отвлекаясь от *семантической* стороны и «движущих сил», определяющих генерирование гипотез, новые подходы, поиски, критерии оценки и выбора,— т. е. от всего того, что в настоящее время не поддается математизации и скрывается под покровом интуиции.

Перейдем к анализу элементов активности, обнаруживаемых *на трех этапах решения задачи и находящихся на разных уровнях* организации субъекта.

Постановка задачи. Понятие проблемной ситуации, или ситуации задачи, есть ключевой и исходный пункт в понимании интеллекта, так как творческая потенция, активно-побудительный фактор выступают здесь наиболее рельефно. Это можно проследить даже в области математического творчества, где правдоподобные рассуждения, т. е. рассуждения по аналогии и по методу неполной математической индукции [см.: Пойа Д., 1957; 1970] содержат то, что мы обозначили элементами интуиции.

Проблемная ситуация, или ситуация задачи, не есть чисто объективное образование, а субъектно-объектная система, где решающая роль принадлежит исторически конкретному, а не абстрактному, субъекту — решателю задачи. Проблемная ситуация (а не просто текст задачи) реализуется при наличии необходимости, нужды, *желания и решимости найти что-то недостающее.* «Существенным ингредиентом процесса решения задачи является желание, стремление, решимость ее решить» [Пойа Д., 1957, с. 245]. Сила этого желания должна быть тем больше, чем труднее задача [там же, с. 246]. То, к чему стремится решающий задачу, выступает в функции объекта цели или просто — цели. Таким образом, проблемная ситуация в целом представляет собой *активное отношение субъекта к объекту*, выражаемое в ориентировочной направленности к объекту, в состоянии установки, готовности преобразовать исходный объект (условия задачи) в другой объект, соответствующий образу, модели будущего объекта, т. е. *цели*, которая вырабатывается в зависимости от актуальной потребности. Описанная ситуация во всей своей конкретности подлежит психологическому анализу, ибо она есть функция потребностей субъекта, представляющих объект психологического исследования. Л другие уровни анализа могут иметь вспомогательное значение, ибо ни гносеологический, ни логический, ни информационный уровни анализа непосредственно не учитывают этого фактора активности, без которого описание решения задач представляет собой безжизненные абстрактные схемы.

Вектор активной направленности субъекта к объекту в отражательно-ориентировочном плане выражается в направленности от исходных условий задачи к цели. Логические и информационные программы лишь извне вводят этот вектор как некую предпосылку. Этот вектор субъективно переживается как противоречие, разрыв, разность между наличным и целевым состоянием отраженного объекта; и величина этой «разности» состояний выступает как побуждающий фактор, стимулирующий к такому преобразованию условий, которое их приближает и переводит в целевое состояние.

С другой стороны, величина этой разности характеризует препятствие, трудность его преодоления. Поэтому решение лю-

бой задачи содержит не только отражательный и мотивационный факторы, но и регулирующий фактор, что психологически означает *волевое отношение субъекта* к своим ресурсам. Это — состояние решимости, внутренней мобилизации своих сил, направленное на актуализацию нужных фрагментов, программ своего прошлого опыта, на поиск недостающих звеньев и т. д. Иначе говоря, решение задачи есть также волевое усилие, направленное на преодоление препятствий. Этот аспект задачи находится в компетенции психологического анализа; от него абстрагированы гносеологический, логический анализ мышления и анализ в аспекте информационных эвристических программ.

Цель гносеологически выступает как некий набор требований или ограничений, наложенных субъектом на исходный объект (условия задачи), благодаря чему он превращается в целевой объект. Эти требования даны в статическом виде, неизменными для всего пути и времени решения задачи. Они служат общим ориентиром движения мысли. Например, если спортсмен поставил задачу — обучить ученика лыжному спорту, — то качества будущего лыжника выступают, как цель, или совокупность требований, которым должен удовлетворять в будущем этот ученик.

Поскольку посредством способности к решению задач можно исследовать и сопоставлять интеллект животных, человека и так называемый машинный, искусственный интеллект, то естественны попытки дать обобщенное определение задачи и ее модель. Одна из недавних попыток изложена в работе [Глушков В. М. и др., 1971]. Один из авторов этой книги Балл Г. А. пишет: «Задача в самом общем смысле — это ситуация, определяющая действия некоторой решающей системы» [там же, с. 66]. А цель определяется как «закодированное в решающей системе требование к состоянию предмета действия» [там же]. Но от фактора мотивации такая слишком расширительная трактовка задачи отвлечена. Последнее обстоятельство неизбежно приводит автора данного определения задачи к тому, что цель как требование к состоянию предмета, на которое направлено действие, принадлежит не решающей системе, а объектной ситуации или «задачной системе» [там же, с. 67].

Приведенная формулировка и трактовка задачи выходит за границы предельного уровня абстрагирования и обобщения, а тем самым утрачивается специфика ситуации задачи. Такое «обобщение» позволяет любые преобразования объекта с теми или иными накладываемыми окружением ограничениями назвать процессом решения задачи. Единственно, что спасает данное определение, обеспечивает его применимость к проблеме искусственного интеллекта, — это факт косвенного участия человека в функционировании современных технических устройств, таких как решающие системы. Недаром все существующие в настоящее время кибернетически управляющие системы представляют собой не системы типа «машина-среда», а типа «человек-машина-

среда», т. е. не автоматические, а строго говоря автоматизированные системы управления. И получается, что в широком кибернетическом обобщении понятия «задача» мы явно отвлеклись от факторов активности решающей системы, а при конкретном применении молчаливо отказались от принятых допущений и абстракций. В действительности мы не имели права в определении задачи абстрагироваться от факторов, которые образуют феномен активности решающей системы. Следует сказать, что приведенное определение характеризует не ситуацию задачи в целом, а лишь ту ее часть (сторону, аспект), которая «схватывается» на уровне формально-логического анализа и на уровне информационных программ, а тем самым находится в компетенции современных моделирующих устройств. Четкая экспликация того, от каких факторов абстрагировались, позволяет перейти к продуктивному анализу и к процессам формализации на более глубоком уровне рассмотрения мышления в целом и интеллекта, в частности.

Этап решения. В чем и как проявляются неформализуемые элементы активности на этапе решения задач?

Этап решения включает в себя три подэтапа: анализ условий и цели задачи (1), формирование плана решения (2), исполнение решения задачи, т. е. реализация плана (3).

Рассмотрим детальнее фазы процесса решения задач.

Для решения любой задачи существен аспект превращения возможности в действительность. Специфика этого превращения применительно к решению задач состоит в *преобразовании исходного объекта* (*условий задачи*) *в целевой объект* (цель) в отражательном, либо практическом плане. Этому преобразованию можно дать кибернетическую интерпретацию. Управление есть «организация и реализация целенаправленных воздействий» [Трапезников В., 1963, с. 178]; поэтому процесс принятия решений есть процесс выработки решающей (управляющей) системой команд, подчиненных цели управления и представляющих собой действия (операторы), преобразующие управляемую подсистему, т. е. исходные объекты, составляющие условия задачи, в целевой объект. И, естественно, от организации самой решающей системы, включая организацию ее прошлого опыта (памяти), и от состояния решающей системы зависит эффективность использования имеющихся и выработки новых средств и способов решения[2].

Поскольку цель и условия задачи определяют деятельность решающей системы, то первая стадия решения задачи сводится к *совместному анализу цели и условий задачи.*

Прежде всего, как показывают психологические исследования и опыт моделирования, важно установить тип задачи, ее место среди известного набора задач. Далее выясняется не только ха-

[2] Под средствами разумеются те элементы (понятия, элементарные операции, обозначения и пр.), которые образуют способы решения (последовательности операций, схемы решений и т. д.).

рактер цели, т. е. ее принадлежность к тому или иному классу искомых объектов (величин, функций, фигур, ситуаций и пр.), но и ее состав. Последнее означает, что цель имеет некоторый набор требований (ограничений), налагаемых на исходные объекты для получения целевого объекта, обладающего свойствами, отвечающими этим требованиям. В силу имеющейся неопределенности целевой объект описывается обычно с точностью до предъявляемых требований, а не свойств. Лишь в идеализированных случаях, например, в математических задачах на доказательство теорем, целевой объект задается с точностью до его свойств. Общая цель задачи в зависимости от набора требований может быть разложена на подцели разными способами. И выбор этой разбивки на подцели зависит как от условий задачи, так и от ресурсов решающей системы. Все это означает, что соизмеримость цели и условий задачи может быть нащупана путем их совместного анализа и в связи с внутренними ресурсами решающей системы.

Разбивка на подцели, а значит и на подзадачи вначале представляет собой статический анализ задачи, ибо подцели выступают сначала как некие «мертвые» части целевого объекта, т. е. как новые объекты, но не как преобразования, функции исходного объекта.

Если разбивка цели на подцели оказывается неудачной, не приводит к идее (принципу) плана решения, то важным способом анализа цели могут стать *эквивалентные преобразования цели*. При этом изменяются формулировки задачи, оставаясь равносильными по их содержанию. Чаще это переформулирование касается математического языка описания задачи; оно основано на изоморфизме тех или иных математических структур. Например, нередко алгебраическая форма описания задачи получает геометрическую интерпретацию, которая помогает найти принцип и план решения задачи.

Начало стадии составления общего плана решения, по-видимому, связано с переходом к формированию подцелей в виде динамических (а не статических) моделей [см. подр.: Поспелов Д. А., Пушкин В. Н., 1972, с. 140]. Это означает, что каждая подцель мыслится уже как объект с присущими ему динамическими свойствами, функциями, преобразованиями по определенным правилам. Так, если мы геометрическую фигуру (как цель доказательства) разбили на вспомогательные части (подцели), то мы должны вспомнить теоремы, характеризующие отношения, свойства и преобразования этих фигур — подцелей. Аналогичен пример с шахматной позицией, когда каждая фигура мыслится в виде «стремящейся сделать различные ходы».

Для того чтобы не утерять связь каждой подцели с общей целью, необходимо иметь *критерий отбора* (выбора) тех операций, которые ведут к цели, либо ближайшей подцели. Эти критерии, выражающие степень «близости к цели» (подцели), представляют своеобразные преобразования статических требований подце-

лей в требования операций, ведущих к цели. Не всегда эти критерии эксплицируются, чаще они подразумеваются, смутно ощущаются и пр.

Кульминационным пунктом составления плана решения служит *догадка об общей идее* (принципе) решения, представляющей основание для составления плана, общей схемы решения. Догадка может выступать в самых разнообразных формах: как введение вспомогательной линии, преобразующей и приспособляющей геометрическую задачу к известной теореме; в виде включения «фиктивного» оперативного члена (например, понятия «отрицательная вероятность» в квантовой физике), который элиминируется в определенном пункте преобразований и помогает найти собственные характеристики объекта; в виде новых абстракций, идеализаций, позволяющих избавиться от осложняющих влияний и сформулировать закон явлений и т. д. и т. п.

Поиски — важнейшее средство выдвижения догадок, открытия новых способов решения и новых результатов. Поиски с точки зрения их характера и структуры бывают трех основных типов: детерминированные поиски, случайные и поиски смешанного типа, включающие элементы того и другого поиска. Каждый тип имеет свои разновидности. Выбор поиска зависит от характера целей, условий задачи и прошлого опыта. Тактику поисков составляют эвристические предписания, имеющие качественный характер. Но главный пункт учения об эвристических поисках решений образует *алгоритмы поисков*, или *эвристические программы*. В настоящее время открыты алгоритмы детерминированных (регулярных) поисков, когда системы действий строго предопределяются сложившейся ситуацией [см.: Растригин Л. А., 1965, с. 13—27]. Это — метод (алгоритм) сканирования (слепой поиск), метод поочередного изменения параметров, метод градиента, метод наискорейшего спуска. К алгоритмам случайного поиска относятся [там же, гл. I]:шаговые алгоритмы (поиск с возвратом, с пересчетом, с наказанием случайностью, поиск по наилучшей пробе, по статистическому градиенту и др.); непрерывные алгоритмы (с наказанием случайностью, автоколебательный поиск, поиск с синхронным детектированием и другие). К алгоритму смешанного поиска относится метод «оврагов» [Гельфанд И. М., Цетлин М. Л., 1967]. Некоторые из открытых алгоритмов случайных и детерминированных поисков входят в состав интеллектуальной деятельности животных и человека, причем методы поиска применяются как к памяти, так и к условиям задачи.

Конкретизация плана решения переходит в программу решения и в исполнение решения.

Кратко рассмотренные элементы этапа решения в целом позволяют теперь остановиться на тех элементах активности, которые не формализуются на уровне информационных, в частности, эвристических программ, а также не принимаются во внимание или же не замечаются многими специалистами по кибернетике.

Ассоциативные связи и аналогии. Существуют ассоциации по смежности (в пространстве и времени), по сходству признаков объектов и по сходству отношений, в частности, структур объектов. Эвристическая, творческая роль ассоциаций есть достояние индивидуального опыта решателя задачи. В отличие от общечеловеческого опыта в виде знания в индивидуальном опыте субъекта отношения по смежности и по сходству более многообразны: кроме существенных отношений они включают и отношения несущественные. Однако несущественное в одних отношениях становится существенным в других отношениях, в других задачах. На этом основан, например, механизм перехода косвенного продукта мышления в прямой и обратно [см.: Пономарев Я. А., 1960]. Ассоциации помогают легко актуализовать тот или другой фрагмент опыта по малейшему «намеку», устанавливать связи в «любом направлении». Любые действия субъекта по «снятию неопределенности» в том или ином фрагменте задачи не обходятся без ассоциаций. Таковы действия по разбивке цели на подцели, по переформулировке цели и условий задачи, по актуализации нужного фрагмента опыта (нужной теоремы, метода, закона и т. д.), генерирование гипотез, выработка новых критериев отбора и т. д. Лишь в фиксированных результатах наших рассуждений ассоциации исключаются, а логические связи выступают в явном виде, приобретают развернутую форму.

Отдельные ассоциации, накапливаясь и фильтруясь, превращаются в *аналогии,* представляющие развитую форму ассоциаций. В рассуждениях по аналогии учитываются как признаки сходства, так и различия, а также их существенность. Ассоциации лежат также в *истоках метода индукции.* Таким образом, все правдоподобные рассуждения, имеющие вероятностный характер, начинаются с ассоциаций.

Эвристическая роль ассоциаций, а также их неуловимость в логических и информационных алгоритмах решения определяются их органической связью с потребностями, интересами, эмоциями и чувствами индивида-субъекта. Богатство, многообразие ассоциаций субъекта зависят от богатства его потребностей, интересов и чувств, которые служат фактором подкрепления ассоциаций при их образовании и упрочении.

Другим фактором творческой активности, тесно связанным с ассоциациями и не поддающимся формализации на уровне информационных и логических программ, является многообразие содержания и характер *психической организации прошлого опыта (памяти) субъекта.* Прошлый опыт субъекта состоит из связанных между собой образований двоякого рода: (1) из отображений внешнего мира, куда включены и отображения отношений «Я» с этим миром; эти отображения имеют разные уровни упорядоченности, устойчивости, существенности у разных субъектов; (2) из отображений средств, методов, способов действия с объектами при решении разнообразных задач; этот операционный опыт также

имеет разную степень упорядоченности, разный характер организации у разных индивидов.

Результаты психологических исследований и сущность системного подхода к познанию любых объектов приводят к следующему выводу. Все психические свойства и (что особенно важно) психические способности в значительной мере зависят от характера организации прошлого опыта субъектов. Пока еще мало известно о закономерностях оптимальной организации опыта, оптимальных путей его формирования и использования. Решение этой проблемы внутренне связано с расшифровкой законов и способов мозгового кодирования психических явлений.

Опыт информационного моделирования привел исследователей к выводу о том, что «интеллектуальные» возможности машин зависят не только от богатства заложенных в них программ, от возможности обучения сложным способам переработки информации, но и от системы отображений, моделей внешнего мира. Отсюда проистекают попытки создания автоматов нового типа, например, гироматов [см.: Поспелов Д. А., 1973; Поспелов Д. А., Пушкин В. Н., 1972, гл. 10], способных формировать меняющиеся модели внешнего мира и использовать их при решении широкого класса творческих задач.

Аналогично тому, как от особенностей объекта зависит характер действий, операций с ним, так и от «хорошей организации» опыта отображений внешнего мира существенно зависит применение операционного опыта и выработка новых способов решения все новых задач, т. е. обогащение операционного опыта. Выдвижение догадок, генерация гипотез, новых направлений поисков, новых вариантов для выбора, выработка новых критериев выбора,— для всех этих операций, на наш взгляд, универсальной «подсказкой», «намеком» служит опыт отображения внешнего мира. Богатство этого опыта заключается не только в его разнообразии, но и, главным образом, в его упорядоченности и богатстве связей, ассоциаций, аналогий. Именно в этом состоит, по нашему мнению, эвристическое значение фактора организации опыта. Этот фактор до сих пор не поддается учету, а тем более формализации.

Творческое воображение (или фантазия) является существенным фактором и выражением интеллектуальной активности; оно тесно связано с ассоциациями. Воображение может иметь наглядный и ненаглядный характер; оно составляет внутренний стержень как художественного, так и научного и технического творчества.

Творческое воображение выступает в виде двух функций, или способностей: (1) способность к генерации того или иного многообразия элементов; (2) способность к синтезу целостных образований.

На различных этапах, стадиях, шагах решения задач возникают ситуации неопределенности, преодоление которых возможно

посредством генерации ситуаций, возможностей, гипотез, направлений с последующим отбором по соответствующему критерию. Именно воображение, базирующееся на содержательном опыте (отражательном и операционном) и его многообразных ассоциациях, способно генерировать многообразие для выбора.

Эта генерация многообразия не сводится целиком к количественному и формальному аспекту. Покажем это на примере принципа случайного поиска, идея которого использована У. Р. Эшби для создания устройства — усилителя умственных способностей [1956]. Генератор случайных состояний или же датчик случайных чисел обеспечивают некоторое многообразие возможностей решений. Блок отбора и усилитель отбора совершают выбор нужного состояния (решения) по соответствующему критерию. Но, к сожалению, генератор реализует лишь количественное многообразие, которое может представлять поле решений для узкого класса задач. А для творческого мышления существенным оказывается многообразие направлений поиска, которые имеют не количественный, а содержательно-качественный, пеметрический характер. Многообразие направлений поиска «наводится», определяется качественным многообразием мира, отображенного в опыте. Пусть нам, желая возразить, скажут: количественное разнообразие состояний закодируем знаками, которым отвечает качественно-содержательное многообразие мира. Однако тогда последнее должно быть заранее дано, и его не за чем генерировать!

Другая сторона воображения — способность к синтезу — также не сводится к формальному механизму комбинаторики и к описанию его методами комбинаторного анализа. Тот неуловимый «остаток», присущий творческой догадке, которая нередко выступает в форме «инсайта» (озарения), пока остается неформализуемой. Но вопреки тезису В. Келера доказано экспериментально [см.: Osgood Ch., 1953, p. 613], что это озарение, мгновенный синтез есть результат всего многообразного опыта решателя задачи.

Неформализуемость воображения в значительной мере обязана его зависимости от активно-мотивационного фактора, который прежде всего выражается в целенаправленности как процесса генерирования, так и синтеза.

При случайном процессе создания многообразия и выбора из него нужных элементов время расходуется весьма непроизводительно; а при решении достаточно сложных задач создать нужное состояние и отобрать его оказывается (как показывает простейший подсчет) делом безнадежным. В качестве наглядного примера здесь приводят обычно ситуацию, когда обезьяна, случайно ударяя по клавишам пишущей машинки, якобы выдаст осмысленную комбинацию букв в виде текста художественного произведения.

При генерации и синтезе человек направляет свои действия тем чувством «близости цели», тем чутьем, которые представляют синтетический эффект удачных и неудачных попыток процесса само-

обучения. Ясно, что эта мотивационно-направляющая сфера психики находится на глубоком психофизиологическом уровне, и его моделирование и формализация — дело будущего.

Важнейшим фактором интуитивного порядка служит участие *сферы подсознательных* («субсенсорных» и «пресенсорных») процессов. Подсознательная сфера может быть подразделена на две области. В первую входят те корковые и подкорковые процессы, которые не вербализованы и поэтому, как правило, не осознаются. Эту сферу можно поэтому назвать сферой бессознательного. Другая часть процессов принадлежит несознаваемому уровню лишь вследствие того, что они находятся ниже порога возбуждения и не оживляют (не актуализуют) вербальные связи. Наконец, изучение психических действий показало, что многие сознаваемые действия после ряда повторений и подкреплений переходят в подсознательные. Таковы локомоторные, первоначально произвольные цепи *движений, ставшие подсознательными стереотипами, таковы интеллектуальные навыки* и подсознательные установки. Пока еще очень мало известно о психофизиологических механизмах этих явлений.

Важная принципиальная роль подсознательных процессов в творческой деятельности определяется тем, что для них характерна параллельная (многоканальная) переработка информации в мозгу. Тем самым одновременная актуализация и обработка множества фрагментов опыта субъекта имеет огромное значение для актов генерации и синтеза, характерных для творческого воображения. Одноканальная, последовательная обработка сведений на сознательном уровне под контролем сознания совершается как бы в среде подсознательных процессов, поставляющих огромный материал и «намеки», «подсказки» в выборе и использовании нужных фрагментов. Эмоционально-мотивационный фактор в этой слаженной работе подсознательной и сознательной сфер имеет первостепенное значение [см.: Бассин Ф. В., 1968]. Система органических и ориентировочных потребностей, интересов и чувств и связанная с ними система оценок не учитываются в информационно-эвристических программах.

Мы рассмотрели некоторые важные факторы активности, показав *их тесную связь с мотивацией — с соответствующими потребностями*, интересами и чувствами. Не меньшая их роль имеет место и на этапе интерпретации и проверки решений.

Проблема технической реализации смыслового значения

Результат решения задачи имеет познавательный статут в том случае, если в нем реализована семантическая характеристика, или отношение. Семантическая характеристика, присущая продуктам психической деятельности, выступает в трех основных формах: в форме предметного значения («объективированности»), присущего чувственному образу; в виде эмпирической интерпрета-

ции (соотнесенность теоретических данных, выраженных в знаковой форме, *с классом эмпирических объектов)*; *в виде теоретической* интерпретации, реализующей смысловое значение, т. е. соотнесенность одной формальной структуры или системы с другой, более познанной.

Психофизиологические условия и механизмы реализации семантического отношения, его природа в настоящее время остаются далеко не выясненными. На основе психофизиологических данных нами была выдвинута гипотеза о природе этого явления [Тюхтин В. С., 1963, с. 30—52; 1972, с. 158—159]. Поскольку теоретическая интерпретация знаковых структур *в конечном счете* связана через чувственное отражение с материальными объектами, то центр тяжести падает на раскрытие предметного значения, присущего чувственному образу. Нами показано, что к основным факторам реализации семантической характеристики чувственного образа относятся следующие: (1) Условно-рефлекторный механизм с замкнутым контуром связи и с эффектом подкрепления одних реакций другими, более значимыми для субъекта. (2) Роль контактной рецепции, предметных действий и включение прошлого осязательного опыта в наличное восприятие. (3) Наличие и актуализация органических и ориентировочных потребностей, которые выражаются в направленности организма-субъекта к внешнему миру. (4) Эквивалентность (или «равноценность» по Сеченову) с точки зрения ориентировочной функции наличных воздействий, с одной стороны, и актуализованных следов прошлых воздействий — с другой. Те и другие имеют идентичный нейродинамический принцип кодирования и подчиняются общим законам деятельности мозга.

Только благодаря единству этих четырех факторов реализуется семантическое отношение: количественные отношения и структуры нейродинамических корковых процессов, являющиеся результатом переработки внешних воздействий, переживаются субъектом как отнесенные к предметам внешнего мира. Без такой предметной отнесенности, без «выхода» из сферы замкнутых внутрисубъектных отношений (как первосигнальных, так и второсигнальных) не существует ни отображения, ни образа, ни знания в строгом смысле слова.

Если сопоставить живые системы и современные кибернетические машины, то окажется, что из четырех перечисленных факторов, совместно реализующих семантическую характеристику, состояния потребностей и акты их подкрепления в процессе общения с внешним миром носят *неформальный характер,* так как они представляют собой своеобразный выход из сферы внутренних для системы отношений в мир вещей. Это означает, что состояния потребностей субъекта в агентах внешней среды психически переживаются субъектом как стремление, направленность к внешнему миру. Благодаря этой направленности и прошлому опыту предметных действий, который актуализуется и включается в про-

цессы переработки поступающих извне сигналов, характеристики последних выступают для субъекта в своем предметном значении как своеобразные «заместители» вещей — их чувственные образы.

А отсюда следует, что *проблема искусственного интеллекта*, эквивалентного естественному интеллекту, должна включать в себя и проблему возможности воспроизведения в машинах активно-потребностного состояния в целях реализации семантического отношения, без которого нет ни смысла формально-знаковых структур, ни функции (способности) понимания. В современных АСУ функция эмпирической и теоретической интерпретации есть прерогатива человека, *который использует машину в своих целях* и без которого кибернетическое устройство является, по выражению М. Минского, «безынициативным», пассивным.

Но в современной психологической и кибернетической литературе существуют тенденции: либо представить семантическую характеристику образа непознаваемым феноменом, либо интерпретировать ее как чисто формальное отношение знаков, знаковых структур; либо как замкнутую в себе систему внутриорганических или внутримозговых отношений, процессов и состояний. Покажем несостоятельность таких представлений.

Функция обратного «проецирования» структуры и количественных характеристик отображения на оригинал в статье А. Н. Леонтьева и Э. Н. Джафарова [1973, с. 7] объявляется «мистической»; авторы ограничиваются самим фактом «непосредственной предметной отнесенности (лучше сказать — сущности) образа» [там же, с. 7].

Но объявить субъективно переживаемый факт предметной отнесенности сущностью образа, а попытки поставить вопрос об условиях и механизмах этого феномена «мистическими»,— все это вместе означает явный переход на позиции презентационизма, т. е. абсолютной непосредственности чувственного отображения. Авторы даже не пытаются разобраться в имеющихся подходах к исследованию феномена «предметной отнесенности». В марксистской литературе обстоятельная критика презентационизма дана в работе С. Петрова [1969, с. 327—328].

В связи с обсуждением проблемы искусственного интеллекта нам остается добавить следующее: позиция презентационизма закрывает путь к конструктивной кибернетической постановке вопроса об условиях и механизмах искусственного воспроизведения семантического отношения в целом и предметной отнесенности, в частности. Такая агностическая позиция открывает, как и открывала раньше (см. высказывания Э. Маха по поводу «белых» пятен в исследовании ощущений), лазейку для поистине мистических, теологических спекуляций.

Другое направление ухода от раскрытия сущности семантического отношения — это попытки свести эмпирическую интерпретацию к формально-теоретической, представить семантическое отношение либо как внутризнаковое отношение, либо как интер-

претацию одной знаковой комбинации посредством другой. В первом случае смысл какого-либо термина как элемента познавательной структуры «понимается как функции его взаимосвязей с другими элементами в системе» [Рейтман У., 1968, с. 160]. Другими словами, «разумно рассматривать «смысл» по отношению к контексту, где контекст любого заданного элемента определяется его прямыми и косвенными связями с другими элементами структуры» [там же, с. 163], ибо «каждый элемент имеет единственную структуру взаимосвязей по отношению к другим элементам сети» [там же, с. 162].

Такое определение смысла может оказаться достаточным в том случае, если известна материальная (или же эмпирическая) интерпретация элементов системы. Без раскрытия (в конечном счете) отношения данного знака, термина, структуры, любого феномена к внешнему миру нет их смыслового значения. Видимо, осознавая это, У. Рейтман фактически отступает от первоначального определения смысла, когда пишет о том, что можно «смягчить первоначальное ограничение, изолирующее познавательную структуру от окружающей индивидуум среды. Тогда познавательная структура становится подсистемой в гораздо более обширной структуре, охватывающей как индивидуума, так и его среду» [там же, с. 163]. Однако автор не подчеркивает принципиальную разнородность познавательной структуры как подсистемы субъекта, с одной стороны, и системы окружающей среды — с другой. А между тем взаимные связи-переходы от знаковых отношений к системе вещей — не однородная операция перекодирования одной системы знаков в другую, а неформальная операция образования кода.

Третье направление представить семантическое отношение как чисто формальное однородное отношение «Я» и среды заключается в переводе обоих членов отношения в модельный план, который реализуется в отражающей системе, решающей задачи. Способность автомата отображать самого себя включенным в модель среды и взаимоотношения со средой истолковывается как панацея, которая спасает от всех трудностей. Тогда якобы семантическое отношение выступает как внутреннее модельное отношение автомата и среды, т. е. как состояние самого автомата. Цель, самосознание и одушевленность, способность к индукции, интерпретации и пр. представляются почти реальными. Подобные взгляды изложены в работах М. Минского [1967, с. 456—457], Л. Фогеля и др. [1969, с. 165—166, 175], У. Рейтмана [1968, с. 163].

Однако вследствие отсутствия у современных автоматов состояния активности, эквивалентного потребностным состояниям живых систем, эти автоматы не обладают ни внутренне присущими им целями, ни способностями материальной интерпретации, ни сознанием и самосознанием. По отношению к автоматам все это — метафоры и не более. Их реальность обеспечивается человеком, использующим эти машины.

Что касается актов подкрепления при обучении и особенно самообучении решающих кибернетических систем, то следует подчеркнуть следующее. Данные психофизиологии показали, что подкрепление есть функция состояний тех или иных потребностей — от органических до ориентировочных. У высших животных, особенно у приматов при их высоком развитии ориентировочно-поисковых потребностей (соответственно — рефлексов) акты подкрепления реакций могут совершаться без воздействия «безусловных» агентов, т. е. жизненно необходимых условий существования, а лишь при актуализации ориентировочной активности. В современных теориях искусственного интеллекта существуют попытки трактовать подкрепление как чисто формальный оператор «штрафа» или «поощрения», как чисто логические ограничения в виде набора правил, наложенных на класс неудачных актов и решений [см.: Резенблатт Ф., 1965, с. 85—88; Минский М., 1967, с. 427—431, 28 и др.]

Активно-потребностное начало и проблема самоорганизации

Рассмотрение элементов интуиции, феноменов активности в интеллектуальной деятельности вплотную привело к вопросу: каковы возможности математизации и моделирования потребности, представляющей собой ключ ко всем формам активности?

Прежде всего потребности определяют выработку и постановку целей, обеспечивая тем самым целенаправленность и — как следствие взаимодействия со средой — целесообразность поведения. Общая потребность, стимул к жизни выражается в реализации общей цели самосохранения или самотождественности живой системы по ее существенным параметрам. Активно-потребностное целевое состояние системы стимулирует выработку подцелей и критериев выбора и оценок реакций на каждом этапе и шаге поведения, решения задач. Рассмотренные выше элементы творческой активности в конечном счете представляют собой функции состояния потребностей, особенно ориентировочно-поисковых. При общесистемном и кибернетическом подходе к жизни и психике, в том числе к потребностям, все их свойства являются функциями организации систем самоуправления. К какому же уровню отнести эти феномены?

Уровень самонастройки представляет собой автоматический процесс оптимизации какого-либо состояния, согласно некоторому критерию качества. Таков, например, процесс поддержания постоянными давления крови или температуры тела организма.

Уровень обучения (с «учителем») и самообучения (без «учителя») есть, кратко говоря, самонастройка плюс память, т. е. накопление и использование прошлого опыта решений и опыта отображения среды. Самообучение при взаимодействии с усложняющимися условиями среды ведет к функциональному совершенствованию системы.

Уровень самоорганизации включает в себя самообучение плюс способность системы самостоятельно и заранее непредвиденным образом менять свои рабочие алгоритмы и свою структуру (путем перекомбинации компонентов, присоединения и отключения некоторых из них) при взаимодействии со средой [см.: Попов Е. П., 1966, § 44]. Взаимодействия с усложняющейся средой приводят самоорганизующиеся системы не только к функциональному совершенствованию, но и к повышению уровня их организованности. Если же такие системы способны к воспроизведению себе подобных (уровень самовоспроизведения), то результаты их деятельности приводят к эволюции, к поступательному развитию. В связи с этим заметим: прежде чем получить путем эволюционного моделирования искусственный интеллект высокого ранга, требуется вначале создать хотя бы простейшую самоорганизующуюся систему. Однако это условие обходится в ряде попыток эволюционного моделирования искусственного интеллекта [см., например, Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М., 1969]. Самоорганизация есть самосовершающийся и самопрограммирующийся процесс; его автономность осуществляется без вмешательства внешних по отношению к данной системе факторов и систем того же типа или выше его.

Поскольку самоорганизация обеспечивает поддержание устойчивости, целостности системы в изменяющейся среде, то она есть особое состояние неустойчивости («беспокойства», «инициативности»), которое стимулирует, направляет на сохранение самотождественности по существенным параметрам. В этом состоит ее важнейшая черта. Но это — особое неустойчивое состояние, которое качественно отличается от чисто физической неустойчивости маятника, стремящегося к равновесию, от неравновесия при разности уровней жидкости в сообщающихся сосудах и т. д.

Вторая главная особенность такой неустойчивости состоит в том, что она самовоспроизводится системой, а не вызывается воздействиями извне (как в модели гомеостата У. Р. Эшби).

Именно такими двумя чертами характеризуется и состояние нужды, потребности живой системы, которое на уровне психики переживается в виде эмоций, чувств, стремлений, желаний и т. д. [см. подробнее: Тюхтин В. С., 1963, с. 81—89]. А ведь, как известно, эмоции и чувства выражают прежде всего соответствие или несоответствие отражаемых явлений актуальным потребностям субъекта, т. е. имеют оценочный характер.

Все это свидетельствует о том, что самоорганизацией в строгом смысле обладают лишь живые существа[3]. Автоматы современного типа, не обладая подлинной автономностью, т. е. включая косвенное участие человека, не являются самоорганизующимися; они реализуют лишь отдельные стороны самоорганизации.

[3] Здесь не обсуждается вопрос, есть ли самоорганизация на уровне неорганической природы и в чем ее качественное отличие от самоорганизации в живой природе [об этом см.: Кремянский В. И., 1967].

Каковы вкратце состояние и общие перспективы разработки теории самоорганизации и моделирования потребностных состояний?

Прежде всего в решении проблемы самоорганизации не следует противопоставлять субстратный подход организационному. Ведь различия систем по их субстрату и эмпирическим свойствам выражаются на уровнях их микроанализа в различиях их организации [см.: Тюхтин В. С., 1972, с. 28—37].

Самый общий подход к решению проблемы заключается прежде всего в выявлении набора принципов, которые необходимы и достаточны для проектирования самоорганизующихся систем. Нами уже отмечалось, что эти принципы имеют глубоко диалектический характер [1970, с. 281]. Они, в частности, имеют характер единства, сочетания противоположных требований: единство прямой и обратной связи (положительной и отрицательной); единство *жестко детерминированного и вероятностного принципов действия*; единство дискретно-кодового и аналогового способов действия подсистем и уровней системы; единство централизации и децентрализации программирования и управления и т. д. В настоящее время вопрос о полноте известных принципов самоорганизации остается открытым. Не создано также приемлемых моделей, схем самоорганизации которые выражали бы их глубокую специфику.

Отсюда понятно, что нет и конструктивных моделей потребностных состояний, факторов мотивации.

Самоорганизация (если ориентироваться на изучение живых систем) имеет, на наш взгляд, два связанных между собой уровня: (1) *вещественно-энергетический уровень* — организация метаболических процессов в единый самовоспроизводящийся цикл; (2) *сигнально-информационный уровень*, связанный с сигнально-информационной причинностью [см. Тюхтин В. С., 1972, с. 82—85], *надстраивающейся над физической*. Главным пунктом самоорганизации на этом уровне и является раскрытие структур активно-потребностных состояний с их последующим математическим описанием.

Перспективы решения первой задачи начинают приоткрываться исследованиями каталитических систем в органической химии. Некоторые виды катализаторов, не участвуя в энергетическом балансе химических реакций и либо инициируя, либо ускоряя их, представляют собой своеобразных посредников-«организаторов» тех или иных реакций. Их можно рассматривать как прообразы носителей сигнально-информационного фактора. Ясно, что это — комплексная задача биохимии, биофизики, биологии и кибернетики.

Вторая задача не может быть сведена к первой. Не случайно не удалось построить сколько-нибудь приемлемые модели мотивации на пути *чисто физического подхода* [см.: Хайнд Р., 1963]. Попытки объединить энергетические машины-генераторы с логическими и информационными программами не есть решение проблемы ис-

кусственного интеллекта, ибо ориентировочно-потребностные факторы при этом не моделируются.

Попытки создания гибридных моделей, где активной подсистемой служит простейшее существо (например, насекомое), которое дает активные стимулы ЭВМ, не дали и, на наш взгляд, не могут дать ожидаемого эффекта при решении задач. Причина этого в нарушении требования: уровень решаемых задач должен соответствовать уровню потребностей.

Достаточно большой опыт машинного моделирования психики и решения задач по управлению производственными процессами привел к выводу: оптимальное разделение функций человека и ЭВМ при их взаимодействии есть наиболее приемлемый путь с точки зрения эффективности использования машин и с точки зрения усиления естественного интеллекта искусственным. Поэтому главная тактическая задача — создание диалогового режима взаимодействия человека и ЭВМ.

Сказанное предполагает дальнейшие исследования по максимальному расширению возможностей автоматов, по машинному моделированию психических функций человека. А это означает, что проблема искусственного интеллекта — важнейшая задача, подчиненная общей задаче автоматизации и механизации умственного труда в век научно-технического прогресса.

Проведенный нами анализ психической активности и ее многообразных проявлений в сфере творчества, а также в реализации предметного и смыслового значения позволяет сделать следующий вывод. Создание технических систем, являющихся автономными носителями интеллектуальных функций (т. е. систем искусственного интеллекта в строгом смысле слова) возможно лишь на уровне самоорганизующихся систем. А поскольку до сих пор не созданы искусственные самоорганизующиеся системы, обладающие активностью, эквивалентной активно-потребностному началу живых систем, то современные технические системы не могут обладать интеллектуальными, творческими функциями. В строгом смысле слова термин «искусственный интеллект» применим не к машинам как таковым, а к человеко-машинным системам. Поэтому на современном уровне проектирования кибернетических систем вернее употреблять термин «*человеко-машинный интеллект*». В противном случае неизбежны переоценка современных технических систем и недооценка человеческого фактора; а это ведет к грубым методологическим и теоретическим ошибкам и к практически бесплодным изысканиям.

Литература

Бассин Ф. В. Проблема «бессознательного». М., 1968.

Бунге М. Интуиция и наука. М., 1967.

Гельфанд И. М., Цетлин М. Л. Принцип нелокального поиска в системах автоматической оптимизации.— «Доклады Академии наук СССР», 1961, т. 137, № 2.

Глушков В. М., Брановицкий В. И., Довгялло А. М., Рабинович З. Л., Стогний А. А. Человек и вычислительная техника. Киев, 1971.

Кремянский В. И. Возникновение организации материальных систем.— «Вопросы философии», 1967, № 3.

Леонтьев А. Н., Джафаров Э. Н. К вопросу о моделировании и математизации в психологии.— «Вопросы психологии», 1973, № 3.

Минский М. На пути к созданию искусственного разума.— В кн.: Вычислительные машины и мышление. М., 1967.

Напалков А. В. Пути и задачи развития теории эвристического программирования.— Вступительная статья к книге: *Рейтман У.* Познание и мышление. М., 1968.

Нильсон Н. Искусственный интеллект. М., 1973.

Павлов И. П. Павловские среды, т. I и II. М.— Л., 1949.

Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1957.

Пойа Д. Математическое открытие. М., 1970.

Петров Сава. Непосредственность чувственного познания.— В кн.: Ленинская теория отражения и современность. София, 1969.

Полетаев И. А. «Трудный период» кибернетики и американские роботы.— Предисловие к книге: Человеческие способности машин. М., 1971.

Пономарев Я. А. Психология творческого мышления. М., 1960.

Попов Е. П. Автоматическое регулирование и управление. М., 1966.

Поспелов Д. А., Пушкин В. Н. Мышление и автоматы. М., 1972.

Поспелов Д. А. Теория гироматов.— Проблемы бионики. М., 1973.

Растригин Л. А. Случайный поиск. Рига, 1965.

Рейтман У. Познание и мышление. М., 1968.

Розенблатт Ф. Принципы нейродинамики. М., 1965.

Сеченов И. М. Элементы мысли.— «Избранные произведения», т. 1. М., 1952.

Трапезников В. А. Кибернетика и автоматическое управление.— В сб.: Возможное и невозможное в кибернетике. М., 1963.

Тюхтин В. С. О природе образа (психическое отражение в свете идей кибернетики). М., 1963.

Тюхтин В. С. Кибернетика и некоторые методологические вопросы психофизиологии активности.— В кн.: «Диалектика и современное естествознание». М., 1970.

Тюхтин В. С. Отражение, системы, кибернетика. М., 1972.

Урманцев Ю. А. Опыт аксиоматического построения общей теории систем.— В кн.: Системные исследования. Ежегодник, 1971, М., 1972.

Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. М., 1969.

Хайнд Р. Энергетические модели мотивации.— В сб.: Моделирование в биологии. М., 1963.

Хант Э., Марин Дж., Стоун Ф. Моделирование процесса формирования понятий на вычислительной машине. М., 1970.

Цетлин М. Л. О поведении конечных автоматов в случайных средах.— «Автоматика и телемеханика», 1961, XXII, № 10.

Эшби У. Р. Схема усилителя мыслительных способностей.— В кн.: Автоматы. М., 1956.

Osgood Ch. Method and Theory of Experimental Psychology. N. Y., Oxford University Press, 1953.

ДИАЛЕКТИКА МЫСЛИ И ФОРМАЛИЗАЦИЯ

Б. А. ЛАСТОЧКИН

Искусственный интеллект и Разум

На популярном уровне спор: может ли машина мыслить или не может,— не выходит за рамки *сравнения наличных результатов,* получаемых ЭВМ и человеком, а потому и не разрешим в содержательно-методологическом плане. Не спасает и осознание исторической динамики низведения «творческих» результатов в «машинные» (считает, решает, переводит и т. д.), ибо спорящие стороны получают равную по силе аргументацию: «оптимисты» ссылаются на прогрессирующую экспансию машинного, а «пессимисты» — на неуменьшение и даже на расширение сферы творческого. Известный математик Е. С. Вентцель в своей интересной статье «Спор: машина и творчество», пожурив «оптимистов-инженеров» за чрезмерный снобизм, одновременно критически охарактеризовала позицию «пессимистов-гуманитариев» как «отрицание с переменной базой», когда за подлинный образец мышления принимается только то, что еще не достигнуто машинами (а граница «подлинного» все отодвигается в бесконечность), что мол «автоматически отменяет самый предмет спора» [Вентцель Е. С., 1970, с. 118].

Ситуация, действительно, разительно напоминает шутливо-геометрическую демонстрацию диалектики известного и неизвестного, когда расширение круга знания сопровождается увеличением границы соприкосновения с незнаемым.

На теоретико-гносеологическом уровне спор воспроизводится, но уже как осознанная проблема возможностей функционального моделирования. И хотя на этом уровне отсутствует наивная постановка вопроса: «может ли машина делать *то же,* что и человек?»,— однако появляется утонченно-логический эквивалент такой постановки: «может ли (а если может, то в какой степени) машина делать *так же,* как и человек?» Переход от термина «результат мышления» к термину «функция мышления» сам по себе еще ничего не означает, ибо в понимание функции чаще всего вкладывают все ту же наличность, результатность, итоговость. Л. Б. Баженов и Б. В. Бирюков пишут: «Понимание того, что́ именно моделируется в данном конкретном случае, существенно зависит от системы применяемых понятий, уровня формализации, схематизации, конструктивизации, алгоритмизации, технических средств моделирования, имеющихся в распоряжении исследователя и т. д.» [Баженов Л. Б., Бирюков Б. В., 1968, с. 52]. Все это, безусловно, верно, но внимание опять же фиксируется *на единичной данности, достигнутом «уровне», имеющихся в распоряжении средствах»* и опять же оставляется без внимания ди-

намика, *всеобщности, переходов, снятия,* т. е. сама диалектика процесса мышления.

Трудно согласиться и с предлагаемым этими же авторами обедненным пониманием термина «функционирование»: «Мы отождествляем здесь «поведение» и «функционирование», исходя из того, что иногда проводимое различение этих терминов может иметь смысл лишь в некоторых конкретных постановках задач, в специальных теориях и т. п., а не в методологических рассмотрениях или математических описаниях явлений и процессов живого достаточно большой общности... Заметим кстати, что проводимое в некоторых биологических и психологических работах различение этих терминов нам непонятно» (Баженов Л. Б., Бирюков Б. В., 1968, с. 47]. Таким образом, вся *специфика высших форм поведения (а значит и мышления),* связанная с выбором, целеполаганием и сложнейшей проблемой рассогласования между целью и результатом, — вся эта специфика высшего либо отбрасывается на локковский манер, как «не являющаяся общей» высшему и низшему одновременно, либо наоборот,— в термине «функционирование» смазывается различие между низшими и высшими (поведенческими) формами функционирования. А такая неопределенность не снимает вопроса о специфике мышления, а лишь отодвигает его решение. Рано или поздно все-таки приходится задумываться над этой спецификой, и тогда в качестве «*методологической рекомендации» по ее выявлению опять же выплывает* старая, локковская обедняющая схема извлечения одинакового из различного: *сравнить разные системы, осуществляющие функции мышления, и выявить в них инвариантный аспект, т. е. саму структуру мышления* [Баженов Л. Б., 1970, с. 104].

При таком подходе все становится «прозрачно-ясным»: наблюдай, сравнивай и выделяй инварианты.

Необходимость перехода к новому типу обобщения осознается сейчас уже не только в науке, но и берется в качестве исходной установки при построении учебных предметов в современной школе [Давыдов В. В., 1972]. Вывод: *Правильное понимание функционирования мышления неразрывно связано с правильным пониманием процесса обобщения.*

Развитие проблемы искусственного интеллекта (мы уже не говорим о ее решении) при явном или скрытом налично-результатном подходе становится все невозможнее. Среди спорящих сторон — «оптимистов» и «пессимистов» — появилась все более расширяющаяся прослойка «осторожных оптимистов», «умеренных пессимистов» и даже просто равнодушных «нейтралистов».

В настоящее время большинством исследователей признается неправомерность как резкого противопоставления, так и механического сопоставления человека и машины. Все больше утверждается взгляд, согласно которому подлинное развитие искусственного интеллекта (какой бы области деятельности это ни касалось) осуществляется лишь как развитие системы «человек-машина».

В. М. Глушков пишет: «Когда мы поручаем ЭВМ рутинные дела, то, естественно, прежде всего этим помогаем человеку. Чем дальше, тем больше машина будет вторгаться в привычные процессы, а человек — соответственно перемещаться на более высокую ступень творчества» [Глушков В. М., 1972, с. 2]. Еще более определенно высказывается Н. Н. Моисеев: «Сегодня мы, математики, которых часто обвиняют в том, что они стремятся все и вся математизировать, отлично понимаем, что лишь небольшая часть проблем, стоящих перед человечеством, поддается математической формализации и описанию на языке математики... Поэтому дальнейшее совершенствование методов научного анализа, особенно в общественных науках, должно основываться на стремлении не к стопроцентной математизации этих дисциплин, а к естественному объединению возможностей ЭВМ с человеческим творчеством... Работы в области автоматизации проектирования уже начались в разных странах, и достигнутые успехи связаны прежде всего с построением подобных человеко-машинных систем» [Моисеев Н. Н., 1973, с. 12, 13].

Но коль скоро осознана ведущая роль человеческого разума, возникает и настоятельная необходимость сознательного использования всего арсенала знаний Разума о самом себе и, прежде всего, знания, накопленного многовековым развитием философской мысли. Инженерно-конструкторская мысль, традиционно ориентированная на классическую формальную логику, все еще недостаточно осознает практическую ценность логики диалектической. Но Разум не мыслит по законам традиционного формализма (какие бы современные обличья этот формализм ни принимал), и если уж речь идет о возможностях искусственного интеллекта, то, по крайней мере, азы диалектики — конструктивные моменты *противоречия, отрицания, обобщения* — должны быть проанализированы. Дело не меняется от того, думает ли конструктор с самого начала об искусственном интеллекте, как о системе «человек-машина» (АСУ, АСП) [1], или же, не вдаваясь в самоанализ, пытается вложить какую-то свою способность в ЭВМ (отбор, распознавание, оценка и т. д.), иными словами, наделить машину своим развивающимся пониманием дела.

Мы выдвигаем тезис: *возможности искусственного интеллекта, закладываемые в него при реализации, неразрывно связаны со степенью нашего понимания диалектической природы интеллектуальной деятельности и мышления.* Можно, конечно, сославшись на многочисленные примеры, когда ЭВМ оказывается в состоянии делать гораздо больше того, что от нее ожидается, выдвинуть *противоположный тезис: возможности искусственного интеллекта* не зависят от степени понимания (или даже зависят от степени непонимания) природы мышления.

[1] АСУ — автоматизированная система управления, АСП — автоматизированная система проектирования.

Доказательство его явно предполагает «поумневшую» ЭВМ, а не явно — «удивленного» человека, способного оценить эти успехи, т. е. опять же предполагается выход системы «человек-машина» на более высокий уровень понимания. Машины — «неорганическое тело цивилизации», и человек так же не может обойтись без них, как и они без него, а развитие идет не по пути обособления двух «Я» — человеческого и машинного,— а по пути *возникновения и снятия* этого обособления. Таким образом, одинаковая «доказуемость» тезиса и антитезиса так или иначе опирается на метаязыковую иерархию «понимания понимания...» и свидетельствует лишь о диалектико-рефлексирующей природе самого мышления, которое только и может существовать в историческом развитии, в становлении, через соотнесение себя с той или иной формой своей реализации. И в этом смысле, подлинное понимание чего-то означает кроме всего прочего и понимание своего понимания. В развивающемся понятии *логическое необходимо вовлекается в исторический процесс.*

Диалектика развития понятий и формальная логика

По-видимому, можно дать достаточно ясное представление о простейших механизмах диалектики саморазвития, исходя из своеобразной полемики между двумя хорошо известными сейчас методологами науки — Д. Пойа [1957; 1970] и И. Лакатосом [1967]. Кстати, тот факт, что рассматривается только развитие понятий, отнюдь не умаляет общности подхода.

Пойа рассматривает две схемы умозаключения:

$$1)\ \frac{A \to B;\ B \text{ истинно}}{A \text{ более правдоподобно}} \qquad 2)\ \frac{A \to B;\ B \text{ ложно}}{A \text{ ложно}},$$

где A — большая посылка, B — следствие. A и B могут быть интерпретированы соответственно как «теория» и «эксперимент». Относительно первой схемы Пойа утверждает, что установление истинности следствия, хотя и не влечет необходимо истинность посылки, но делает ее более правдоподобной. Увеличение числа проверенных следствий доводит правдоподобие общей посылки почти до уровня достоверности. Если под A подразумевать «теорию», а под B — «опыт» (в любом его понимании), то становится понятной и идея «принципа верифицируемости» при оценке жизнеспособности теории (логический позитивизм). Пойа развивает и уточняет эту схему индуктивной логики путем введения «исчисления правдоподобия».

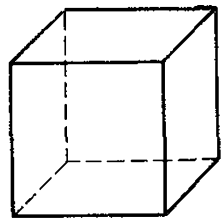
Относительно же второй схемы он категорически заявляет: «Даже с крайне примитивной точки зрения мы можем увидеть у этой схемы рассуждения замечательные свойства: она *объективна, универсальна, самостоятельна* и *окончательна*» [Пойа Д., 1957, с. 370].

Лакатос в своей работе отвергает эту оценку второй схемы, показывая, что «опровергающий контрпример» *B* играет в отношении общего утверждения *A* не разрушающую, а созидающую роль.

Рассматривается история «доказательств» теоремы Эйлера о многогранниках, причем вся 200-летняя судьба этой теоремы для удобства дается в «очищенном и дистиллированном» виде как дискуссия учеников класса. Реальная же история снесена в обширные подстрочные замечания. Приводим сильно упрощенный вариант схемы Лакатоса:

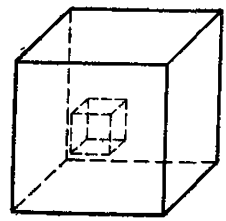
1-е определение (*Учитель*)

Теорема Эйлера формулируется так: «У любого тела, ограниченного плоскими гранями, число граней плюс число телесных углов (вершин) на два больше, чем число ребер» (Следует доказательство!!). Э=G+V—R=2.



1-е опровержение (*Ученик Альфа*)

У меня есть опровергающий контрпример: куб с кубической полостью внутри. Для него число Эйлера равно не двум, а четырем. Э=4.

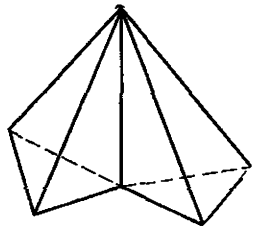


2-е определение (*Ученик Дельта*)

Разрешите мне уточнить: многогранник это не «тело», а «поверхность». Следовательно, Ваш контрпример отпадает, т. к. здесь мы имеем просто два многогранника.

2-е опровержение (*Ученик Альфа*)

Пусть так. Но возьмите две пирамиды с одним общим ребром. Это по Вашему новому определению будет одним многогранником, но число Эйлера для него равно не двум, а трем. Э=3.

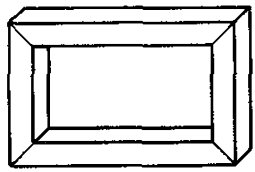


3-е определение (*Ученик Дельта*)

Я восхищаюсь Вашим извращенным воображением, но, конечно же, я подразумевал под поверхностью систему многоугольников, расположенных таким образом, чтобы на каждом ребре встречались только два многоугольника.

3-е опровержение (*Ученик Альфа*)

Тогда давайте рассмотрим раму картины, удовлетворяющую всем Вашим определениям и тем не менее имеющую число Эйлера, равное нулю. Э=0.

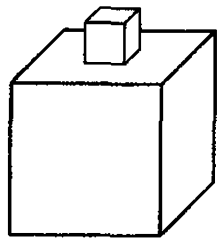


4-е определение (*Ученик Дельта*)

Опять патология! Ведь каждому ясно, что настоящий многогранник при раздувании должен обращаться в шар. Рама же обращается в тор.

4-е опровержение (*Ученик Альфа*)

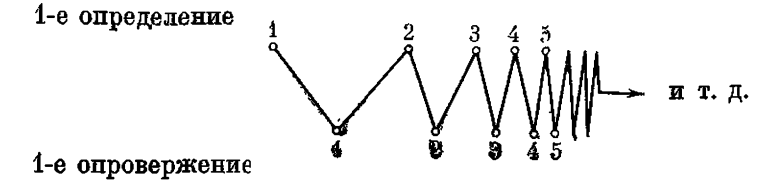
Ну, хорошо, хорошо. Рассмотрим куб с маленьким кубом, поставленным сверху. Число Эйлера опять равно не двум, а трем. Э=3.



5-е определение (*Ученик Дельта*)

Но ведь очевидно же, что все грани должны быть «односвязными», а здесь есть кольцевая грань... и т. д., и т. д., и т. д. ...

Схематически этот процесс можно представить так:



Лакатос беспощадно развенчивает убежденность математиков в существовании «идеально корректного» определения многогранника. В частности, попытки считать теорему Эйлера и ее доказательства относящимися только к «выпуклым» многогранникам, не снимают проблемы, т. к. сразу же отсекается огромный класс эйлеровых многогранников, не являющихся выпуклыми, и теорема сильно теряет в общности. Кроме того, исторический анализ показывает, что понятие «выпуклости» появилось значительно позже Эйлера.

Первый вопрос классической диалектики: *является ли этот процесс историческим или логическим?* Ведь то, что разыгрывалось в истории в течение двухсот лет, могло разыграться и в логическом диспуте, так сказать, одномоментно при самом Эйлере. «Правоверный» сторонник формальной логики склонен считать, что этот процесс не исторический, а процесс «уточнения» исходных представлений, процесс выявления «скрытых допущений и лемм» и что такое *уточнение может быть доведено до конца,* до «максимальной точности», и, следовательно, фактор исторического, фактор времени, а значит и момент практики для этого процесса являются несущественными и *в принципе* могут быть исключены из рассмотрения. Диалектик же будет настаивать на историческом характере развития понятия многогранника, считая, что движение вперед неразрывно связано с углублением исходных представлений, и что *достижение в каких-то определениях «окончательной ясности основ» равносильно прекращению прогресса в верхних этажах знания.* Еще Гегель говорил: «*Каждый шаг вперед в поступательном движении,* каждое дальнейшее определение, удаляясь от неопределенного начала, представляет собой также и возвратное приближение к последнему и что, стало быть, то, что на первый взгляд может казаться разным,— *идущее назад обоснование начала и идущее вперед дальнейшее его определение* — совпадает воедино и есть одно и то же» [Гегель, т. VI, с. 316].

«Может возникнуть желание не утруждать себя отрицательным, как ложным, и прямо схватить истину. Зачем возиться с ложным?... Представления об этом, главным образом, и препятствуют доступу к истине. Это и дает повод говорить о математи-

ческом (читай, формально-логическом. — *Б. Л.*) познании, которое нефилософское знание считает идеалом; к достижению последнего, по его мнению, философия будто бы должна стремиться, но до сих пор стремилась напрасно... истина не является отчеканенной монетой, которая может быть дана готовой и в *таком виде взята*» [Гегель, 1913, с. 17].

«Вследствие нетерпения желают невозможного, именно, достижения цели без средств. Между тем для достижения цели, с одной стороны, приходится претерпеть продолжительность этого пути, ибо каждый момент необходим, с другой, необходимо остановиться на каждом моменте, ибо каждый из них сам представляет собою индивидуальный целый образ...» [Гегель, 1913, с. 13].

«Нетерпение, желающее *лишь* выйти за пределы *определенного*... и оказаться непосредственно в абсолютном... имеет перед собой некое *мнимое* абсолютное, которое есть мнимое потому, что оно не *положено*, не постигнуто; *постигнуть* его можно лишь через *опосредствование* познавания... сама же истина обретается лишь в широко развернутом ходе его движения и в конце пути» [Гегель, т. VI, с. 317].

Было бы наивным полагать, что формальная логика безоговорочно отказывается от продолжения попыток «загнать историческое в логическое» путем введения понятия «смены языковых систем», «языка, на котором описывается эта смена», «языка этого языка» и т. д. Но в самих этих исследованиях (безусловно необходимых и полезных) формальная логика незаметно для себя впадает в историческое.

В итоге приведем высказывание В. И. Ленина из «Философских тетрадей»: «Продолжение дела Гегеля и Маркса должно состоять в *диалектической* обработке истории человеческой мысли, науки и техники... А „чисто логическая“ обработка? ...Это *должно* совпадать, как индукция и дедукция в «Капитале»» [Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 131].

Второй вопрос, возникающий при рассмотрении схемы Лакатоса: *сужалось или расширялось понятие многогранника?* Согласно обычным представлениям, всякое наложение ограничений (а ученик Дельта только этим и занимался) должно приводить к сужению понятия. Однако ясно, что в действительности шло расширение и обогащение учения о многогранниках вплоть до появления топологических представлений и рождения топологии как качественно новой науки.

Формализм пытается решать противоречие «сужение-расширение» введением так называемого «закона обратного отношения объема и содержания понятия», резко расчленяющего предметную и понятийную сферы. Так, если в городе в данный момент имеется какое-то определенное множество домов (объем понятия) и мы *внешним образом* будем строить понятие некоторого дома как нарастающую сумму признаков (содержание понятия: «пятиэтажный»+«с лифтом»+«с горячей водой»+«с телефоном

в каждой квартире»+«с установкой искусственного климата»+ «с вращающимся по солнцу фундаментом»+и т. д.), то действительно, увеличение содержания понятия будет сопровождаться уменьшением его объема, т. е. сокращением числа домов, к которым это понятие может относиться. Дело только в том, что первоначально зафиксированная предметная область довольно быстро исчерпывается и формалист, свято придерживающийся закона обратного отношения, вынужден прекращать «беспредметное» наращивание содержания. Архитектор же *проектирует и строит, в деятельности разрешая возникающее противоречие,* наращивая *и* содержание, *и* объем понятия[2]. И тем более бессмысленно омертвлять предметную область при развитии математических понятий.

«Закон обратного отношения» не спасается и размежеванием «объема понятия» от «предметной области», ибо даже в анализе «ставшего понятия» (с четко фиксированным объемом) возникает коварная проблема соотношения нуль-объема и полноты содержания. В конце концов, любой формальный анализ это тоже деятельность, а потому он так или иначе все время воспроизводит свою предметную область.

Третий вопрос: *какова степень общности схемы Лакатоса?* Если в математике «опровергающий контрпример» является продуктом деятельности ума, догадки, то в общем случае развития уже *опыт, практика, среда* рождают такие контрпримеры:

а) закон причинности гласит, что «во всех случаях одинаковые причины, при одинаковых условиях, приводят к одинаковым следствиям». И вот следует опровержение опытом: одна и та же щель, совершенно идентично излученный электрон и тем не менее «хаотически разные» точки попадания в экран. Сначала это и было воспринято как крушение причинности, но ее все-таки «спасли», расширив понимание причинности до вероятностной категории;

б) вся история теории относительности и квантовой механики представляет цепь «опровержений» и все более солидных «утверждений», углубляющих сущность и понимание этих теорий, вплоть до вырождения всего процесса в «скуку» (а по Гегелю это объективное понятие!), предваряющую качественный скачок. Так, знаменитая дискуссия между Бором и Эйнштейном — блестящий образец становления новых представлений квантовой механики. Разящие контрпримеры Эйнштейна и сверхизобретательная защита Бора — типичная схема Лакатоса;

в) в теории познания крики об «исчезновении материи» привели не к крушению материализма, а к углублению В. И. Лениным понятия материи;

[2] Закон прямой зависимости между объемом и содержанием развивающегося понятия был сформулирован и обоснован Б. М. Кедровым в ряде работ [1956, 1967].

г) если же говорить не о диалектике познания, а о диалектике *объективного* процесса (хотя о связи того и другого можно многое сказать), то приведем пример из области экономики. Любой, действительно новый товар (самолет, телевизор, лемовский «домашний дезинтегратор» и т. п.), являющийся плодом вдохновения, бессонных ночей и личного труда изобретателя, этот товар при своем рождении бунтует против «меркантильных» попыток своего выражения в существующих определениях стоимости, т. е. вначале просто не может быть соотнесен с общественно-необходимым временем (в этом смысле, ему цены нет!). Только будучи поставлен на серийное производство, этот товар втягивается в определения стоимости, изменяя и расширяя одновременно характер и меру сложности самого труда. Любая рационализация производства есть «опровержение» стоимости, поскольку та определяется общественно-необходимым временем;

д) в эволюционном процессе отрицающий момент обеспечивается воздействием среды и мутациями.

Можно показать, что в схеме Лакатоса заложена вся гегелевская схема становления со всеми ее «темными» понятиями: «бытия», «небытия», «положенного бытия», «отрицания», «отрицания отрицания», «погружения в основание», «скуки» и т. д., хотя сам Лакатос о Гегеле не говорит ни слова, как бы заново открывая механизм диалектики развития. А что касается историко-философской культуры, то Лакатос предпочитает говорить всего лишь о «традициях скептицизма»,— диалектика для него все еще что-то вроде софистики, превращающей черное в белое и наоборот [Лакатос И., 1967, с. 132].

Конечно, незнание Гегеля само по себе не порок, а скорее дань остаткам официальной западной философии, игнорирующей не только диалектический материализм, но даже и Гегеля. Однако автору, столь удачно выступающему против математического догматизма, следовало бы, на наш взгляд, проявить большую осведомленность в вопросах философии.

Основной линией книги Лакатоса является критика распространенного убеждения в существовании так называемых «окончательных доказательств». Критика эта осуществляется путем раскрытия тайны *бесконечного спуска в основания,* бесконечного выявления все новых и новых ранее «скрытых» постулатов и лемм. Лакатос утверждает: «В доказательствах существует бесконечный спуск; поэтому доказательства не доказывают. Вы должны понять, что доказывание представляет игру, в которую играют, пока это доставляет удовольствие, и прекращают, когда устанешь» [Лакатос И., 1967, с. 77].

Оппонент Лакатоса Пойа, ознакомившись с работой «Доказательства и опровержения», видимо, так и не понял всей принципиальной важности этого бездонного погружения и свел все к банальной ремарке о том, что мол таким путем «можно достигнуть более полного знания» [Пойа Д., 1970, с. 234].

Сам же Лакатос, видимо, даже и не подозревает, что он блестяще выполнил задачу, поставленную еще Гегелем в «Феноменологии духа» 150 лет тому назад: «В своем движении доказательство принимает некоторые определения и отношения и пренебрегает другими, причем непосредственно не видно, в силу какой необходимости оно это делает; внешняя цель управляет этим движением.

Очевидность этого неудовлетворительного познания, которой математика гордится и кичится перед философией, покоится на бедности ее цели и на недостаточности ее материала, а потому, такого рода, что философия должна ею (этой «очевидностью», — *В. Л.*) пренебречь ...

Критика таких доказательств была бы настолько же замечательна, как и поучительна в целях очищения, с одной стороны, математики от этого фальшивого наряда, с другой, ради указания ее границ и вытекающей отсюда необходимости в другом знании ...

Жизнью духа является не та жизнь, которая дрожит перед смертью и оберегается от распада, а та, которая выносит ее и сохранит себя в ней... Дух ... есть эта сила только при условии, если он смотрит в глаза отрицательному, пребывает в нем» [Гегель, 1913, с. 14—20]

Любопытна в этом отношении эволюция взглядов на природу доказательств в современной математике и логике. Издавна считалось, что доказательство по самой сути связано с той или иной концепцией следования, с каким-то алгорифмом; были проведены многочисленные изыскания, появилась обширная литература по теории доказательств. Но вот в 1970 г. лидер конструктивного направления в математике А. А. Марков утверждает, что доказать — значит... сделать очевидным путем рассуждений (без всяких дальнейших определений) и отстаивает эту точку зрения в полемике со своими же учениками [Марков А. А., 1970, с. 14].

О путях формализации

Посмотрим теперь, как схему развития можно все-таки зафиксировать в символах. Но прежде заметим, что хотя логику этого процесса разработал Гегель, начало свое схема берет в сократовской расшатывающей «иронии». Суть ее в чередовании всеобщего утверждения (обозначаемого квантором общности — $\forall$) и опровергающего контрпримера (фиксируемого квантором существования — $\exists$). Приведем весьма вольное изложение одной из бесед Сократа, максимально оголяя логический скелет диалога.

Беседуя с Евтидемом и установив, что тот считает себя безусловно добродетельным человеком и гражданином, Сократ спрашивает: «Как ремесленники могут сказать, в чем состоит их работа, так и *добродетельные*, я полагаю, могут указать, в чем состоят их дела. Знаешь ли ты, Евтидем, что такое «добрые дела» и что такое «недобрые дела»? Евтидем полагает, что знает, и вот тогда

Сократ просит назвать для примера какое-нибудь *безусловно недоброе дело,* начиная тем самым процесс развития и углубления понятия (лжи):

Евтидем: Обман является безусловно недобрым делом.

Сократ: Но если военачальник обманывает врага?

Евтидем: Уточняю: обман друзей и «не врагов» является безусловно недобрым делом.

Сократ: Пусть так. Но если войско поддалось необоснованной панике, а военачальник, сообщив о несуществующих подкреплениях, вдохновил воинов и добился победы?

Евтидем: Я восхищаюсь, Сократ, твоим изощренным воображением, но, конечно же, я не имел в виду «ложь во спасение»!

Сократ: Тогда давай рассмотрим такой случай: Смертельно раненый друг военачальника перед тем как навечно закрыть глаза спрашивает: удалось ли разбить врага? И военачальник говорит о победе, хотя в действительности дела обстоят плохо.

Евтидем: Опять патология! Ведь каждому ясно, что настоящая ложь не может быть «ложью в утешение»!

и т. д., и т. д., и т. д.

I. Итак, вначале идет *утверждение всеобщности*

$$(\forall x \in X) P. \qquad (1)$$

Это могут быть самые разные по содержанию утверждения:

а) для *всех* многогранников x, из известного нам множества многогранников X, верна теорема Эйлера P.

И это «все» доказывается!

б) всякая ложь x, из нашей области понимания лжи X, является недобрым делом P;

в) любое явление x, из выделенной нами области реального мира X, объясняется теорией P; и т. п.

II. Затем следует *утверждение существования единичного контрпримера*

$$(\exists x' \in X) \bar{P}. \qquad (2)$$

а) существует, по крайней мере, один многогранник x' (из, как это ни странно, того же самого известного нам множества многогранников X), для которого теорема Эйлера не верна — $\bar{P}$. И как тут быть с законом противоречия, сказать трудно. Появляется (как? почему?) контрпример, опровергающий как всеобщее высказывание, так и его доказательство. В этом пункте как раз и заключено то самое «таинство рождения», которое диалектика выражает понятием саморазвития, а иногда и случайности;

б) конструируется пример лжи x', удовлетворяющий известному пониманию недоброй лжи X, и тем не менее являющийся примером доброго дела — $\bar{P}$;

в) обнаруживается явление x', удовлетворяющее нашему по-

ниманию области явлений $\overset{\vee}{X}$, и тем не менее необъяснимое с точки *зрения имеющейся теории* — $\bar{P}$.

III. За опровержением следует *новое утверждение всеобщности*, углубляющее первоначальный тезис

$$(\forall x \in X')\, P. \tag{3}$$

а) «*Ограничивая*», *расширяем* наше понимание многогранников $X \to X'$, и теорема Эйлера спасена с сохранением всеобщности, но уже, так сказать, с укрепленным фундаментом. А доказательство модернизируется;

б) «*Ограничивая*», *расширяем* наше понимание лжи $X \to X'$, и тезис о недоброти лжи спасен;

в) «*Ограничивая*», *расширяем* наше понимание области реального мира $X \to X'$, и теория спасена.

Эти три шага (всеобщее утверждение — опровергающий контрпример — новое всеобщее утверждение) образуют элементарное звено диалектического цикла развития, которое мы обозначим знаком $\coprod$ (эту букву, кажется, еще не переворачивали)

$$\left|\begin{array}{l} \forall(x \in X)\, P \\ (\exists x' \in X)\, \bar{P} \\ \downarrow(\forall x \in X')\, P \end{array}\right| = \coprod (X; P). \tag{4}$$

Может показаться, на первый взгляд, что здесь нет никакого формального противоречия, ибо признаки, образующие содержание понятия (например, многогранника) $X \models p_1 + p_2 + p_3$ не совпадают на трех этапах, т. е. вначале имеем

$$(\forall x \in X = p_1 + p_2 + p_3)P, \tag{5}$$

затем обнаруживается, что отсутствие в понятии некоторого признака (например, односвязности) — позволяет найти контрпример

$$(\exists x' \in X = p_1 + p_2 + p_3 + \bar{p}_4)\bar{P} \tag{6}$$

и, наконец, это отсутствие обнаруживается и отсекается

$$(\forall x \in X' = p_1 + p_2 + p_3 + p_4)\, P. \tag{7}$$

Весь вопрос только в том: *можно ли обнаружить отсутствие, если оно не появилось*? И на каком шаге отсутствие обнаруживается: на втором или на третьем? И почему обязательно новый признак (p_4) нуждается в негативной фазе ($\bar{p}_4$) ? и т. д. и т. п.

В самом деле, чем, например, отличаются друг от друга понятия $X = p_1$ и $X = p_1 + \bar{p}_2$? Формально понятия с необнаруженным и обнаруженным отсутствием какого-либо признака равноправны. В действительности же, *обнаружение отсутствия* движет науку вперед. Луи де Бройль как-то сказал: «Позавчера мы ничего не знали об электричестве, вчера мы ничего не знали об огромных резервах энергии, содержащихся в атомном ядре. Чего мы не знаем сегодня?» Вот уже поистине: *в науке огромный прогресс* —

сегодня мы не знаем значительно больше! Исстари наиболее глубокие умы всерьез интересовались этим вопросом, а Николай Кузанский даже назвал одну из своих работ «Об ученом незнании» [Кузанский Н., 1937, с. 5].

Традиционный формализм делал все возможное, чтобы элиминировать необходимость отрицающих инстанций из системы развивающегося понятия и объявить их (в лучшем случае!) всего лишь сюжетом сомнительного (с точки зрения «серьезной науки») юмора. Однако все теоретические усилия и проявленные чудеса знаковой изобретательности не смогли избавить становящееся понятие от противоречивости. Гегель в свое время резюмировал: «Было бы тщетно стараться как бы схватить все изворотливые, все неожиданные мысли рефлексии и ее рассуждения, чтобы лишить ее возможности пользоваться теми лазейками и увертками, при помощи которых она скрывает от себя свое противоречие с самой собой. Поэтому я и отказываюсь принимать во внимание те многочисленные, так называющие себя возражения...» [Гегель, 1970, с. 153]. Даже сейчас можно присоединиться к этому гегелевскому резюме, лишь добавив в позитивном плане, что *подлинная формализация должна быть ориентирована не на элиминацию, а на ассимиляцию отрицающих инстанций.*

Следует также обратить внимание на то, что даже на эволюционном этапе действительное расширение и обогащение понятия (многогранника, лжи, реальности) происходит не только за счет поправок и наращивания предиката (теоремы, оценки, теории), т. е. не просто путем $\bigcup (P+\Delta P)$, но и путем изменения фундаментальных представлений, т. е. путем $\bigcup (X+\Delta X)$. Предикат же P, необходимо пройдя свое «инобытие» $\bar{P}$, возвращается к себе «положенным бытием» P. К сожалению, это обычно понимается как «ошибка — обнаружение ошибки — исправление» и считается, что это досадное обстоятельство может и должно быть исключено. Но недаром народная мудрость утверждает, что «в споре рождается (именно рождается, а не выясняется!) истина».

Плодотворность отрицающих «ошибок» давно замечена фольклором («На ошибках учатся», «Тот не ошибается, кто ничего не делает», «Нет правил без исключения», «Исключения лишь подтверждают правило», «Не согрешишь... не спасешься», «За одного битого...» и т. д. и т. п.). Что может означать, например, для ученого совет «семь раз отмерить», как не рекомендацию перед опубликованием новой идеи попытаться *углубить* ее путем ряда «опровержений» и «спасений»? Продолжительность, глубина и острота этой предварительной самокритики характеризует добросовестность ученого, хотя и в этом, конечно, нужна мера.

В. И. Ленин писал: «*Отражение* природы в мысли человека надо понимать не „мертво", не „абстрактно", *не без движения*, **не без противоречий**, а в вечном **процессе** движения, возникновения противоречий и разрешения их» [Ленин В. И. Полн. собр. соч., т. 29, с. 177].

Элемент сомнения, здоровый скепсис — необходимый компонент развивающейся науки, предпосылка научного знания. Р. Фейнман по этому поводу особо отметил, выступая на галилеевском симпозиуме в 1964 году: «...нет познания без вопроса, нет вопроса без сомнения» [Фейнман Р., 1968, с. 157].

Необходимость отрицания для прогресса наталкивает еще на мысль о том, что та теория более научна и, следовательно, более жизнеспособна, которая легче и непринужденнее опровергается, «фальсифицируется» (что и было замечено К. Поппером). Экстремальные случаи широко известны: труднее всего опровергается очевидная глупость, в то время как гениальная идея наиболее уязвима для критики и даже кажется «безумной».

Итак, в разнообразных примерах мы видели, что диалектическое расширение и обогащение понятия происходит не за счет всяческих поправок, наращивания предиката и доказательств других теорем, т. е. не путем формальной развертки теории при неизменной базе исходных представлений:

$$|X; P| \to P' \to P'' \to P''' \ldots, \tag{8}$$

но путем изменения и углубления самой понятийной базы:

$$\ldots \leftarrow X''' \leftarrow X'' \leftarrow X' \leftarrow |X; P|. \tag{9}$$

Традиционный формализм процесса перехода от одной исходной базы к другой или не рассматривает, или не связывает этот переход с необходимостью отрицания, целиком относя переходно углубляющую деятельность к позитивной активности личности, не замутненной никакими сомнениями.

Однако нельзя творить чудеса, оставаясь святым, и разделенность определений и опровержений на самом деле вещь кажущаяся, ибо это две стороны одной медали. Опровержение невозможно само по себе, без того, что́ оно опровергает, а определение «нуждается в стимуле». Любое определение обязательно предполагает свою причину — различающий контрпример. И при отсутствии внешнего оппонента определяющий разум оппонирует сам.

Формальная логика занимается развертыванием теорем, а диалектическая логика — реконструкцией базы. И одно от другого неотделимо, ибо *под* каждым выводом и любой теоремой открывается бездна опровержений, равно как и *над* каждой базой надстраивается иерархия теорем. Развитие теории (да и чего бы то ни было) может быть адекватно описано лишь в такой логике, которая учитывает оба аспекта: наращивание этажей и углубление фундамента. Такую объединяющую логику Гегель назвал *спекулятивной,* т. е. наблюдающей в целом:

$$\underbrace{\ldots \leftarrow X''' \leftarrow X'' \leftarrow X' \leftarrow}_{\text{диалектическая логика}} \underbrace{|X; P| \to P' \to P'' \to P''' \to \ldots}_{\text{формальная логика}} \tag{10}$$

$$\underbrace{\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad\qquad}_{\text{спекулятивная логика}}$$

Становление и диалектическое конструктивное отрицание

Итак, в «диалектическом шаге» Υ зафиксировано элементарное звено развития. Этот же «шаг» дает еще одну форму связки между кванторами всеобщности и существования. И из этой связки прежде всего вытекает, что внешнее отрицание общего утверждения совсем не влечет автоматически утверждения о существовании. То есть, если в формальной *традиционной* логике

$$(\forall x \in X)\, P \rightarrow (\exists x \in X)\, \bar{P}, \tag{11}$$

то в действительном развитии таким «голым», «нигилистическим», иными словами, традиционным формально-логическим отрицанием никакого продвижения не получить. Опровергающий пример должен быть *обнаружен, рожден, изобретен, сконструирован,* ...Стоп, но ведь это же основной тезис математического интуиционизма! Френкель и Бар-Хиллел пишут: «...общее утверждение может быть отрицаемо только посредством указания противоречащего примера; в противном случае отрицание общего утверждения просто бессмысленно. Следовательно, *на самом деле основой так называемого отказа от принципа исключенного третьего является невозможность простого отрицания общих утверждений* в неоинтуиционистской математике и логике ... брауэровские ограничения относятся не столько к самому по себе принципу исключенного третьего, сколько к отрицанию общих высказываний» [Френкель А., Бар-Хиллел И., 1966, с. 264, 279]. Современная логика различает и формализует два вида отрицания — *внешнее* («не верно, что...») и *внутреннее* («верно, что не...»). Более того, конструктивизмом развиваются более тонкие градации отрицания, опирающиеся на такое положительное его понимание, «при котором отрицание высказывания тоже свидетельствовало бы о какой-то нашей способности» [Марков А. А., 1970, с. 18, 19].

Трудности перехода от утверждения к отрицанию и обратно породили желание обозначить эти трудности каким-то знаком и, тем самым, как бы подняться над ними (как известно, заклеймить — значит в какой-то мере избавиться). И был введен оператор неопределенности — «?». Может это и полезное нововведение, но остается неясность относительно возможности выражения исторической неопределенности («не существует и будет ли существовать?») в логической неопределенности («не известно и будет ли известно?»). Поэтому «интуиционистские парадоксы» снимаются расширенной за счет «неопределенности» логикой лишь постольку, поскольку они как-то формализованы. А возможность и полнота таких формализаций оспаривается большинством интуиционистов.

Таким образом, в интуиционистской логике фиксируется одна из основных проблем диалектики, размораживается статика «логического» и как-то учитывается аспект «реально-исторического»

(*хотя бы в творчестве самих математиков*). И прав М. Бунге, утверждающий, что между математическим интуиционизмом и его идеалистическим философским однофамильцем нет почти ничего общего [Бунге М., 1967]. Но зато многое, добавим от себя, связывает математический интуиционизм с диалектикой. Например, широко известно, что интуиционизм отвергает так называемые доказательства чистого существования, т. е. всеобщие утверждения, основанные на доказательстве невозможности противоположного. А вот, что по этому поводу говорит Гегель: «Эмпирически всеобщее предложение (ведь и такого рода предложения выставляются) основывается на молчаливом согласии, что если только нельзя привести ни одного *примера* чего-то противоположного, то *множество* случаев должно считаться *общностью;* иначе говоря, что *субъективную* общность, а именно общность *ставших известными* случаев можно принять за *объективную* общность». И Гегель делает вывод: «Эмпирическая общность остается поэтому *задачей, долженствованием,* которое, таким образом, не может быть представлено как бытие» [Гегель, 1972, с. 88].

Но отвергнув традиционно-логическую импликацию, жестко связывающую внешнее отрицание всеобщего с существованием:

$$\overline{(\forall x \in X)\, P} \rightleftarrows (\exists x \in X)\, \bar{P}, \tag{12}$$

математический интуиционизм столкнулся с вопросом: какими же должны быть законы следования и вывода в математике? И тут мнения, как и следовало ожидать, стали расходиться. Гейтинг построил особую логическую систему, в которой, в частности, была ограничена одним направлением классическая импликация:

$$(\forall x \in X) P \leftarrow (\exists x \in X)\, \bar{P}. \tag{13}$$

мнемонически это различие можно пояснить так. В классической логике положение «*неверно, что все существует*» влечет соответственно — *«существует не все»* и, наоборот, т. е. справедливо соотношение:

$$\overline{\exists A} \rightleftarrows \exists \bar{A}. \tag{14}$$

В логике же Гейтинга следование только обратное:

$$\overline{\exists A} \leftarrow \exists \bar{A}, \tag{15}$$

т. е. если «существует не все», то значит «не верно, что все существует». Прямой же зависимости нет, ибо из положения «не верно, что все существует» может следовать как существование чего-либо, так и полное отсутствие всякого существования.

Конструктивное направление ввело чрезвычайно полезное для развития *машинной математики понятие алгорифма* [Марков А. А., 1954]. В самой конструктивной математике выдвигаются требования новых уточнений и т. д. Продолжает существовать и

«крайняя» точка зрения, которая, хотя и признает полезность перечисленных формализаций, все же считает, что любая статическая, символическая система логики служит лишь приблизительным отображением математического процесса.

В свое время Гегель отметил: «Совершенно всеобщими формами противоположности являются всеобщее и единичное» [Гегель, т. 9, с. 95]. Современная логическая наука выразила эти формы в весьма емких понятиях «квантора общности» ($\forall$) и «квантора существования» ($\exists$). И что самое важное, *любая* связка между этими кванторами обязательно использует то или иное понятие отрицания ($\neg$; —; $\sim$). Это, конечно, не случайно, ибо любой формализм является одномоментным срезом диалектического процесса. Резюмируя, можно сказать, что кванторы общности и существования выражают два несводимых друг к другу момента развития и любая замораживающая связка критически преодолевается самой математической мыслью.

Следует также отметить, что *анализ диалектики развития* невозможен без одновременной записи единичного и всеобщего хотя бы в виде $x \in X$. Обычное опускание в подобных записях второго члена отражает лишь номиналистский крен математических представлений.

Анализ противоречий элементарного шага развития понятия ($\forall\exists$) далеко еще не раскрывает сущности развития в целом. Не всякое опровержение или отрицание будет «работать» по трем причинам: во-первых, если оно «голое», «нигилистическое», «зряшное»; во-вторых, если оно «некорректно» и снимается в рамках существующего понимания; в-третьих, если оно повторяет (по незнанию или по невежеству автора) ранее выдвинутое и уже ассимилированное отрицание. Здесь надо лишь отметить, что «голым», «нигилистическим» и «зряшним» может быть не только опровержение всеобщности, но и *спасение* всеобщности. Как часто не дают себе труда заметить родившееся зерно нового (новый признак понятия) и вывернуть его из негативной формы ($\bar{p}$) в позитивную (p) с тем, чтобы *включить в базовое понятие* (X), а вместо этого просто отмахиваются от опровержения или (в худшем случае) уничтожают его носителя, прерывая диалектический процесс в самом зародыше.

Итак, рассматриваемый процесс по самой своей сути имеет статистический характер, так как степень единства научного понимания — величина усредненная. О таких «мелочах», как «конкурс авторитетов» (при одновременном опровержении или спасении теории) уже не приходится и говорить. И тут мы выходим в открытое море проблем, выходящих за рамки данной статьи, проблем, связанных с коллективной природой знания (Овчинников Н. Ф., с. 30], миром вероятностей [Сачков Ю. В., 1971] и логикой меры [Ласточкин Б. А., 1970].

Некоторые итоги.

Часто обсуждаемый вопрос: формализуема диалектика или неформализуема? — представляет собой, по нашему мнению, псев-

допроблему, ибо нет в мире ничего неоформленного. Однако формализация бывает разная: можно формализовать и машинизировать процесс кирпичной кладки,— тогда диалектика, действительно, непричем; но ведь можно давать какие-то формальные рекомендации селекционеру, выращивающему новый цветок (скрещивание, отбор, уход),— и вот здесь диалектика начинает работать в полную силу.

Мы стремились возможно подробнее показать логику некоторых простейших механизмов саморазвития, и прежде всего роль конструктивного отрицания в процессе обобщения. А учитывать диалектические моменты просто необходимо, если имеешь дело с саморазвитием, и тем более с интеллектуальной деятельностью.

Что практического сможет извлечь из всех этих сведений инженер-конструктор — предугадать трудно. Быть может он в новом ракурсе увидит проблему распознавания образов: ведь всякое распознавание это не просто сличение объекта с заложенным образцом, а некоторый процесс («проглядывает знакомое», «перестаю узнавать») — и тогда несовпадение по какому-то одному из *существенных* параметров перестает быть просто неудачей, а приобретает особую ценность. Может быть и полноценное функционирование АСУ невозможно без какой-то внутренней статистики самоотрицаний, которую нужно предусматривать с самого начала. Может быть, прольется какой-то свет на проблему диалогового режима, эвристики и т. д.

Нами рассмотрена элементарная позиция диалектической логики — схема становления и возможности ее формализации. Но это только начало, ибо вне рассмотрения остались такие важнейшие категории, как *мера, рефлексия, снятие, цель* и многие другие, т. е. по существу вся диалектика. И все-таки, в любом случае при рассмотрении проблем искусственного интеллекта начинать надо с признания необходимости диалектического отрицания и с умения различать конструктивные моменты в «опровержениях», «контрпримерах» и даже «ошибках». Эту идею в образной форме выразил Рабиндранат Тагор:

Если перед ошибками
Ты замыкаешь вход,
Ты забываешь об истине,
Как же она войдет? [Тагор Р., с. 15.]

Литература

Баженов Л. Б. Некоторые гносеологические аспекты моделирования мышления (К вопросу о субстрате и субстратных методах).— В сб.: Методологические проблемы кибернетики. Материалы к Всесоюзной конференции, т. 2. М., 1970, с. 102—107.

Баженов Л. Б., Бирюков Б. В. Некоторые философские вопросы моделирования биологических объектов.— В кн.: Математическое моделирование жизненных процессов. М., 1968, с. 45—64.

Бунге М. Интуиция и науки. М., 1967.

Вентцель Е. С. Спор «машина и творчество».— В сб.: Методологические проблемы кибернетики. Материалы к Всесоюзной конференции, т. 2, М., 1970, с. 108—121.
Гегель Г. В. Ф. Феноменология духа. СПб., 1913.
Гегель. Сочинения, т. VI. М., 1939.
Гегель. Сочинения, т. IX. М., 1932.
Гегель Г. В. Ф. Наука логики, т. 1. М., 1970.
Гегель Г. В. Ф. Наука логики, т. 3. М., 1972.
Гейтинг А. Интуиционизм. М., 1965.
Глушков В. М. Диалог: человек и ЭВМ (интервью).— «Правда» от 10 июня 1972 г.
Давыдов В. В. Виды обобщения в обучении. М., 1972.
Кедров Б. М. Эволюция понятия элемента в химии. М., 1956.
Кедров Б. М. Характер изменения объема и содержания развивающихся понятий.— В кн.: Анализ развивающегося понятия. М., 1967.
Кузанский Н. Избранные философские сочинения. М., 1937.
Лакатос И. Доказательства и опровержения. М., 1967.
Ласточкин Б. А. Философский анализ расщепления меры (к вопросу об экстенсивном и интенсивном аспектах количества). (Канд. дисс.) М., 1970.
Марков А. А. Теория алгорифмов.— «Труды математического института им. В. А. Стеклова», т. XLII. М., 1954.
Марков А. А. О логике конструктивной математики.— «Вестник Московского университета» (серия математическая), 1970, № 2.
Моисеев Н. Н. Компьютер ставит эксперимент.— «Литературная газета» от 1 января 1973 г.
Овчинников Н. Ф. Структурное единство и синтез научного знания в свете ленинских идей.— «Вопросы философии», 1969, № 10.
Пойа Д. Математика и правдоподобные рассуждения. М., 1957.
Пойа Д. Математическое открытие. М., 1970.
Сачков Ю. В. Введение в вероятностный мир. М., 1971.
Тагор Р. (Цит.: по «Альманаху научной фантастики», вып. 9. М., 1970).
Украинцев Б. С. Отображение в неживой природе. М., 1969.
Улам С. М. Вычислительные машины.— В сб.: Математика в современном мире. М., 1967.
Фейнман Р. (Цит. по журн «Вопросы философии», 1968, № 12).
Френкель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. М., 1966.
Leibniz G. W. Fragmente zur Logik, hrsg. von Franz Schmidt. Berlin, 1960.

МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ МАШИННОГО ВЫВОДА ТЕОРЕМ

В. Н. Тростников

История вопроса

Вопрос, которому посвящена данная статья, имеет большую историю. Первая четкая его постановка принадлежит Готфриду Вильгельму Лейбницу (1646—1716). Занимаясь философией, математикой, правом, историей, прославившись как литератор и организатор (по его плану была создана Берлинская Академия наук, а после его смерти и Петербургская), этот разносторонний гений постоянно обращался мыслью к своей любимой идее, которую он назвал «универсальной характеристикой». Это был гран-

диозный замысел создания математического аппарата, который дал бы возможность формализовать любые рассуждения и получать правильные высказывания с помощью «механического» оперирования с символами по строго определенным правилам.

Эта мечта зародилась у Лейбница очень рано; еще в двадцатилетнем возрасте он писал, что ставит целью создать «общий метод, который сведет получение всех истин разума к некоторому виду вычисления. В то же время, это будет некий универсальный язык, или письмо, по бесконечно отличное от тех, которые предлагались до сих пор, поскольку его символы и даже слова будут направлять разум; и ошибки, кроме ошибок в установлении фактов, смогут быть лишь обычными ошибками расчета. Такой язык будет очень трудно сконструировать или изобрести, зато им очень легко будет пользоваться безо всяких словарей» [см: Bell E., 1961, p. 123].

Впоследствии, развивая свои идеи, Лейбниц говорил, что универсальная характеристика навсегда уничтожит философские дискуссии, так как, если у двух философов возникнут разногласия, они сядут за грифельные доски и скажут: давай-ка посчитаем, кто прав.

Но эта, одна из замечательных идей Лейбница была менее всего оценена его современниками — как из-за того, что не была разработана с достаточной степенью конкретности, так и из-за того, что слишком опережала время. Философия, математика и логика должны были пройти еще длинный путь, прежде чем получить возможность вернуться к обсуждению этой мысли.

Следует обратить внимание на один очень важный пункт. Лейбниц, как Декарт (1596—1650), Спиноза (1632—1677) и другие великие мыслители XVII в., был представителем философского рационализма; поэтому для него множество «всех истин разума» совпадало с множеством всех вещей и явлений реального мира. Следовательно, его «универсальная характеристика» должна была быть не просто средством устранения споров, а средством познания всех объективных истин, то есть универсальным методом познания действительности.

В XVIII в. и в первой половине XIX в., в период «идолопоклонничества анализу», математики потеряли интерес к тщательному исследованию методов рассуждения, сконцентрировав все свои усилия на развитии «вширь» дифференциального и интегрального исчисления, то есть на отыскании все новых его приложений. Только в 1840-х годах появились работы Августа де Моргана (1806—1871) и Джорджа Буля (1815—1864) по символической логике [см.: Бурбаки Н., 1963]. Хотя эти исследования имели преемников (Джевонс, Шредер, Порецкий и др.), они выглядели все же одиночками, стоящими вне главного русла тогдашней математики.

Новый прилив интереса к анализу логических построений, в частности, доказательства теорем, был вызван глубоким кризисом

оснований математики, который, в свою очередь, был результатом обнаружения парадоксов теории множеств [см.: Френкель А., Бар-Хиллел И., 1968]. Это случилось на самом пороге нашего столетия. Большую работу проделали в этот период Готтлоб Фреге (1848—1925), заложивший основы аксиоматикодедуктивного метода вывода теорем, и Бертран Рассел (1872—1970), который вместе с А. Н. Уайтхедом издали фундаментальный труд «Principia Mathematica», содержащий достаточно совершенную формализацию арифметики как логико-математической системы.

Дальнейший крупный шаг вперед связан с исследованиями 1930-х годов, проведенными Куртом Гёделем, Алонзо Чёрчем, Аланом Тьюрингом, Эмилем Постом и другими специалистами по математической логике и теории вывода. К этому же кругу вопросов относятся выполненные уже в следующем десятилетии работы А. А. Маркова по созданию теории нормальных алгоритмов. О сущности результатов Гёделя, Чёрча, Тьюринга и Маркова мы скажем дальше, в соответствующих местах изложения.

Еще приблизительно через десять лет на сцену выступили электронные вычислительные машины, способные выполнять по заданной программе длинные цепи арифметических вычислений. Поскольку теоретическая база была уже готова, встала проблема реальной автоматизации процесса вывода теорем. Однако после первых же работ этого плана [Ньюэлл А., Шоу Дж. и Саймон Г., 1967 и др.] энтузиазм несколько остыл, поскольку возникли значительные трудности как технического, так и методологического (философского) характера. На проблемах второго типа мы и сосредоточим наше внимание.

Машинный вывод с разных точек зрения

Введем в рассмотрение три параметра, характеризующих процесс машинного вывода:

а) его потенциальную осуществимость;

б) его фактическую (техническую) осуществимость;

в) отношение выведенных теорем к познанию окружающего мира.

Если бы а) и б) имели место, а по поводу в) можно было бы сказать, что теоремы дают адекватное отражение вещей, то машинный вывод представлял бы собой столь мощный инструмент познания, что никакой ученый не пожелал бы ничего лучшего. Именно так, видимо, представлял себе дело Лейбниц.

Начнем с параметра а). Определим, что мы понимаем под потенциальной осуществимостью (ПО). Обратимся к примеру. Пусть нужно осуществить процесс написания натуральных чисел, идущих подряд, вплоть до числа 10^{30}. Если даже печатанием чисел займется самая быстродействующая современная ЭВМ (*миллиард операций в секунду*), *то она дойдет до этого числа через*

триллион лет [1]. Перед этой процедурой компьютер становится эквивалентным ребенку, только что научившемуся выписывать цифры,— ни первый, ни второй не доведут ее до завершения. Тем не менее нет причин считать, что цель недостижима *принципиально*, поскольку интуиция с несомненностью подсказывает нам: если на бумаге написано некоторое число, то в принципе всегда можно написать следующее. Это значит, что ПО — осуществимость при условии, что бумаги и времени у нас сколько угодно. Конечно, такое предположение представляет собой акт научной фантазии, без которой не существует большинство теорий как в математике, так и в других науках. Математический объект, являющийся конечным результатом некоторого ПО-процесса, назовем *конструктивным* объектом.

Теперь рассмотрим пример процедуры, не обладающей свойством ПО. Допустим, нам дано задание напечатать число $^1/_3$ в его десятичном представлении, а затем напечатать число I. Выполнить это задание нам не удастся: уже первое число будет печататься вечно и поэтому мы никогда не перейдем к напечатанию единицы.

Термин «фактическая осуществимость»— ФО (она же техническая) интуитивно хорошо понятен. Но все же нужно подчеркнуть два относящихся к нему обстоятельства. Во-первых, эта характеристика не является постоянной: процесс, который вчера был фактически не осуществим, сегодня, в результате появления новых технических средств, становится ФО-процессом. Во-вторых, наличие или отсутствие ФО определяется не только математической стороной процесса и имеющимися техническими ресурсами, но и такими вещами, как целесообразность, стоимость и т. д.; поэтому ФО представляет собой понятие несколько расплывчатое. Поясним это подробнее. Предположим, ставится вопрос, обладает ли свойством ФО процедура, цель которой — печатание двенадцатой десятичной цифры после запятой суммы квадратных корней натуральных чисел от единицы до триллиона. Осуществить такую процедуру современная вычислительная техника позволяет: на машине «БЭСМ-6» она займет всего около 100 часов. Но я сомневаюсь, что человечество в ближайшие годы узнает, какова упомянутая цифра, поскольку не найдется, наверное, источника финансирования этой бессмысленной процедуры, которая обойдется в сумму около 10 000 рублей.

Назовем количественные характеристики, вычисление которых требует обработки материала из ограниченной области, *закрытыми*. В противоположность этому, будем называть *открытыми* такие характеристики, отыскание которых хотя бы в небольшой мере затрагивает весь комплекс факторов человеческой цивилизации: промышленность стран, международную жизнь, социаль-

[1] Мы предполагаем здесь, что числа выводятся на бумагу из памяти машины мгновенно.

ные проблемы, демографию, личные интересы отдельных людей и т. д. Тогда мы можем сказать, что ФО есть открытая характеристика, в то время как ПО является, несомненно, закрытой характеристикой.

Перейдем к третьей характеристике — отношению выводимых теорем к познанию реального мира, которую сокращенно назовем «отношением к познанию» (ОП). Она в первую очередь связана с проблемой интерпретации формальной системы, в которой выводятся теоремы. Ясно, что содержательная теория, в которую превращается формальная система при наложении на нее интерпретации, может иметь различную познавательную ценность. При отсутствии интерпретации ОП обращается в нуль. Максимально возможной величины она достигла бы в случае, когда теория объяснила бы все: физические, биологические и социальные явления. Поскольку установление ОП связано оценкой познавательной ценности теории, она является открытой характеристикой. Почему мы считаем, что открытие законов генетики, например, имеет большее значение (а следовательно, соответствующая теория более относится к познанию мира), чем открытие законов синоптики? Кроме всего прочего, и по соображениям, связанным со всеми аспектами развития и совершенствования человеческого общества. Но необходимо иметь в виду очень существенную деталь: одна и та же формальная система может использоваться с помощью нескольких интерпретаций в нескольких содержательных теориях и тогда теоремы этой системы будут работать с многократной нагрузкой. Далее, отсутствие интерпретации *на сегодня* вовсе не означает (как постоянно напоминает нам история математики), что она не отыщется в самое близкое время и не приведет к созданию исключительно ценной содержательной теории. Учитывая сказанное, мы должны выражать свое мнение относительно ОП той или иной теории с чрезвычайной осторожностью.

После определения этих трех основных характеристик процесса вывода теорем, перейдем к более детальному их анализу.

Механизм формального вывода

Для дальнейшего нам необходимо обрисовать наиболее общие черты формальной системы, особенно те, которые связаны с понятием теоремы. Разумеется, наше рассмотрение будет нестрогим.

В основе формальной системы (или «формализма», или «исчисления») лежит *алфавит* — конечный список употребляемых символов, которые должны быть быстро и уверенно отличимыми друг от друга человеческим глазом или автоматическим устройством (вроде того, которое «читает» на конверте индекс почтового отделения). Написанные подряд несколько символов образуют *слово*. Только малая часть слов представляет собой *формулы;* в исчислении должен содержаться критерий, благодаря которому решение вопроса, является ли данное слово формулой, есть ПО-процесс. Только ма-

лая часть формул составляет теоремы. Определение теоремы удобнее всего дать через промежуточное понятие вывода. Вот это определение.

1. Такие-то и такие-то формулы (следует конечный список) суть *теоремы*. Эти изначальные теоремы называются *аксиомами*.

2. Выводом называется такая цепочка (последовательность) формул, в которой всякая формула есть либо аксиома, либо связана с некоторыми из предыдущих формул определенным отношением, называемым *правилом вывода*.

3. Если существует вывод, кончающийся на некоторой формуле, то эта формула есть *теорема*.

Алфавиты могут быть различными. Но чтобы исчисление имело практически полезную интерпретацию, желательно, чтобы его алфавит содержал *логические связки*: $\neg$ (интерпретируется как «НЕ»), $\vee$ (как «ИЛИ»), $\&$ (как «И»), $\equiv$ (как «Тогда и только тогда, когда»), $\rightarrow$ (как «следует»). В одном из самых простых вариантов исчисления алфавит, кроме этих символов, содержит еще только *буквы* X_1, X_2,..., и *скобки* (и). Формулы в этом исчислении определяются так:

1. Буква есть формула.

2. Если A и B суть формулы, то $(\neg A)$, $(A \vee B)$, $(A \& B)$, $(A \equiv B)$, $(A \rightarrow B)$ суть формулы.

Заметим, что A и B в этом определении не есть буквы алфавита исчисления, это — «внешние» буквы, используемые для удобства речи и обозначающие некоторые слова, составленные из букв X_1, X_2..., логических связок и скобок (в частном случае A или B могут обозначать отдельную букву X_k алфавита исчисления). Нетрудно было бы показать, что данное определение делает возможным выяснение того, является ли некоторое слово формулой ПО-процессом. Поэтому можно говорить, что это определение конструктивно.

Посмотрим, как строится вывод теорем. Пусть аксиомами будут следующие формулы:

1. $(X_1 \rightarrow (X_2 \rightarrow X_1))$
2. $((X_1 \rightarrow (X_2 \rightarrow X_3)) \rightarrow ((X_1 \rightarrow X_2) \rightarrow (X_1 \rightarrow X_3)))$.

(В исчислении есть и другие аксиомы, но мы их опустим.) Правила вывода таковы: в последовательности формул, называемой выводом, всякая формула A либо есть аксиома, либо получается из какой-нибудь из предыдущих формул подстановкой в нее вместо некоторой буквы (всюду, где буква встречается) произвольной формулы, либо среди формул, предшествующих A, имеются две формулы вида B и $B - A$, где B — произвольная формула. Последнее правило, связывающее три формулы, называется *модус поненс* и обозначается *МП*.

Дадим конкретный образец вывода, состоящего из шести формул, связанных нашими правилами.

T_1: $(X_1 \to (X_2 \to X_1))$;

T_2: $((X_1 \to (X_2 \to X_3)) \to ((X_1 \to X_2) \to (X_1 \to X_3)))$;

T_3: $((X_1 \to (X_2 \to X_1)) \to ((X_1 \to X_2) \to (X_1 \to X_1)))$;

T_4: $((X_1 \to X_2) \to (X_1 \to X_1))$;

T_5: $((X_1 \to (X_2 \to X_1)) \to (X_1 \to X_1)$;

T_6: $(X_1 \to X_1)$.

Убедимся, что эта цепочка формул есть вывод. Первая формула есть аксиома. Вторая формула также есть аксиома. T_3 получена из T_2 подстановкой вместо X_3 формулы X_1 (буква есть формула!). T_4 связана с T_1 и T_3 правилом МП. T_5 получается из T_4 подстановкой вместо X_2 формулы $(X_2 \to X_1)$. Наконец, T_6 связана с T_1 и T_5 правилом МП. Таким образом, нами доказана теорема $(X_1 \to X_1)$, которая при обычной интерпретации данного исчисления означает: «если какое-то высказывание истинно, то отсюда следует, что оно истинно». Конечно, ради такого интуитивно ясного результата не имело бы смысла строить теорию выводимости, но нам пришлось взять тривиальный пример только для того, чтобы избежать громоздких выкладок. Машина, действующая с громадной скоростью и имеющая в распоряжении длинные рулоны бумаги, могла бы написать гораздо более длинные цепочки выводов, ведущие к значительно более интересным в смысле интерпретации теоремам.

Мы говорим здесь пока только о физической возможности печатания машиной длинных цепочек, поскольку пока еще не исследовали вопроса, умеет ли машина самостоятельно, без участия человека, строить вывод.

Несравненно более богатым исчислением, чем только что рассмотренное, является *логико-арифметическая* формальная система. Она рассчитана на то, чтобы ее формулы интерпретировались как утверждения о натуральных числах, поэтому кроме перечисленных выше символов она содержит еще символ $\forall$ (квантор общности), запятую, предметные константы $a_1, a_2, \ldots$, функциональные буквы f_k^n и предикатные буквы A_k^n. Квантор общности интерпретируется как утверждение «для всех...», предметная константа — как конкретное натуральное число, функциональная буква — как некоторая операция над числами, предикатная буква — как некоторое свойство или отношение чисел, скажем «простое», «делится на» и т. д. Например, если $f_1^4(x_1, x_2, x_3, x_4)$ интерпретировать как функцию $x_1^{x_4} + x_2^{x_4} - x_3^{x_4}$, $A_1^1(X_k)$ — как свойство X_k быть равным нулю, $A_2^1(X_k)$ — как свойство X_k быть больше нуля и $A_3^1(X_k)$ — как свойство X_k быть больше трех, то формула логико-арифметического исчисления.

$$\Phi\colon \forall X_1 \forall X_2 \forall X_3 \forall X_4 (\neg (A_1^1(f_1^4(X_1, X_2, X_3, X_4)) \& A_2^1(X_1) \times$$

$$\times \& A_2^1(X_2) \& A_2^1(X_3) A_3^1(X_4)))$$

будет интерпретироваться так: «для любых положительных чисел X_1, X_2, X_3 и для любого числа, превосходящего тройку, X_4 утверждение, что сумма X_4-ых степеней X_1 и X_2 равна X_4-ой степени X_3 всегда ложна». Очевидно, это — «Большая теорема Ферма». Если бы нам удалось вывести эту формулу по указанным правилам вывода на базе арифметических аксиом (т. е. построить цепочку формул, являющуюся выводом и оканчивающуюся формулой Ф), то проблема, триста лет не дающая покоя сотням людей, была бы раз и навсегда решена.

Но как найти вывод, ведущий именно к той теореме, которая нас интересует? Отталкиваясь от *аксиом и конструируя все более* длинные цепи выводов, мы лишь частично сможем влиять на развитие событий, так как появление новых теорем в значительной мере будет определяться полученными до этого теоремами,— процесс обретет некую долю спонтанности. Правда, у нас всегда будет оставаться некоторый выбор: мы сможем развивать наращивание теорем по той или иной ветви разветвляющегося дерева, но мы не будем знать заранее, какая его ветвь приведет к доказательству (или опровержению) важной для нас формулы.

Поэтому можно предложить следующее: взять аксиомы, а затем приписывать к ним *все* теоремы, которые только можно вывести с помощью заданных правил из предыдущих. При этом естественно ожидать, что *рано или поздно* мы получим любую истинную формулу. Следовательно, те формулы, которые по своей конструкции должны быть истинными или ложными (а формула Ф принадлежит как раз к таким), в конце концов перестанут быть загадками: разветвляющиеся выводы подведут нас либо к этим формулам (*значит они истинны*), *либо к их отрицаниям* (*значит* они ложны).

Такова общая схема действий. Осуществить ее «вручную» было невозможно по причине обширности дерева выводов и крайней медленности счетной работы, выполняемой человеком. Но появление ЭВМ заставляет снова вернуться к ее обсуждению и к попыткам ее реализации.

Прежде всего нужно выяснить вопрос о самом слабом типе осуществимости — о потенциальной осуществимости (ПО). Поскольку этот вопрос не связан со скоростью счета, он был проанализирован еще до появления ЭВМ и получил разрешение уже в тридцатые годы.

Первая трудность состоит в том, что нужно установить определенный порядок получения новых теорем, гарантирующий, что никакая теорема не будет пропущена. Сначала кажется, что порядок установить легко: написать одноформульные выводы, то есть аксиомы, затем приписать к ним все двухформульные выводы, затем *получить все возможные выводы, состоящие из трех формул*, и т. д. Но оказывается, что уже переход от аксиом к «ближайшим» теоремам ставит нас перед серьезной проблемой. Действительно, выводы, состоящие из двух формул, представляют собой либо написан-

ные подряд две аксиомы (таких — конечное число), либо аксиому и написалную после нее формулу, полученную из этой аксиомы подстановкой вместо буквы какой-то формулы (применение правила *модус поненс* требует минимум двух предыдущих формул). Но таких подстановок может быть столько, сколько имеется разнообразных формул. Скажем, из аксиомы $(X_1 \to (X_2 \to X_1))$ можно сразу же получить такие теоремы: $((\neg X_1) \to ((\neg X_2) \to (\neg X_1)))$, $((X_1 \vee X_2) \to (X_3 \to (X_1 \vee X_2)))$, $((X_1 \equiv X_2) \to ((\neg X_5) \to (X_1 \equiv X_2)))$,... и т. д. — до бесконечности.

Однако эта трудность все же не является непреодолимой. Расположить *теоремы в некотором порядке*, как выяснилось,— в принципе не более сложно, чем расположить в возрастающем порядке заданные натуральные числа. Это стало очевидным после серии замечательных работ К. Гёделя, относящихся к началу 30-х годов нашего века. Гёдель осуществил *нумерацию* объектов логико-арифметического исчисления, то есть дал способ, с помощью которого каждому символу алфавита, каждой формуле и каждой цепочке формул ставится в соответствие некоторое число — «гёделев номер» данного объекта. Это было сделано таким остроумным образом, что по арифметическим свойствам любого натурального числа (количество делителей, вид делителей и т. д.) можно было установить, является ли это число гедслевым номером какого-либо объекта или нет, а если является, то какого именно объекта. Более того, Гёдель выяснил, каковы арифметические свойства числа, которое является номером не просто цепочки формул, а *вывода*, т. е. цепочки, где формулы связаны правилами подстановки и модус поненс.

После этого стало возможным вообразить такой потенциально осуществимый процесс. Берутся подряд натуральные числа 1,2,3,... Каждый раз проверяется, служит ли данное число геделевым номером вывода, и если служит, то отыскивается геделев номер последней формулы цепочки (это можно сделать с помощью арифметических операций), после чего легко уже восстановить самую формулу, которая и будет доказанной теоремой. Действуя по такой схеме, мы, очевидно, дойдем когда-нибудь до любой теоремы, в том числе, к примеру, до теоремы Ф. В самом деле, среди выводов, ведущих к Ф (если она истинна) или к отрицанию Ф (если она ложна) имеется вывод с наименьшим геделевым номером N, а действуя по нашей схеме, мы обязательно на каком-то этапе подвергнем рассмотрению число N.

Так было установлено, что постепенное построение *всех* выводов есть ПО-процесс. Но оставалось неясным, ко всем ли формулам, которые по своему виду должны быть истинными или ложными, ведет хоть какой-нибудь вывод, т. е. не расположились ли некоторые такие формулы в «пустотах» между ветвями дерева выводов. Пользуясь своим методом нумерации, Гёдель исследовал этот вопрос и дал на него ответ, который был воспринят большинством математиков как неожиданный и даже сенсационный.

Это была знаменитая «теорема о неполноте арифметики». Гёдель указал пример формулы, которая по своей структуре обязательно должна быть либо истинной, либо ложной, но ни к ней, ни к ее отрицанию не ведет ни один вывод. Это означало, что в арифметике имеются принципиально недоказуемые и неопровержимые формулы. Аналогичный результат быстро получался и для любой другой формальной системы, содержащей арифметику в качестве своей части.

Понятно, что теорема Гёделя несколько охлаждает восторг, который раньше могла вызвать программа Лейбница, поскольку процесс разрешения вопроса о том, истинна или ложна данная формула, не обладает даже самой слабой формой осуществимости — свойством ПО. Возможно, среди неразрешимых формул находится как раз формула Ф и другие очень интересные в научном отношении утверждения.

Тем не менее, можно ожидать, что среди выводимых теорем окажется достаточно много очень важных и ценных с точки зрения содержательной интерпретации формул. Поэтому остается чрезвычайно актуальной проблема фактической осуществимости ПО-процесса *доказательства доказуемых теорем.*

Принципы программирования вывода теорем на ЭВМ

При такой постановке вопроса нам прежде всего нужно выяснить, какие процессы доступны машинному исполнению, так как надежды на фактическую реализацию перебора всех выводов связаны у нас исключительно с ЭВМ. Не появится ли новых ограничений при переходе от гёделевых теоретических построений к тем операциям, которые способен выполнять компьютер?

Аппарат, позволяющий определять, является ли данное натуральное число гёделевым номером вывода, состоит из *рекурсивных функций,* сводящихся к написанию числа, на единицу превосходящего данное число, выбору из ряда чисел такого-то по порядку следования числа и отысканию наименьшего натурального числа, удовлетворяющего данному условию, то есть к тем ПО-процессам, которые мы рассматривали в пункте 2. Интуитивно кажется весьма вероятным, что не только человек, но и автомат может делать эти процедуры. Так оно и есть на самом деле, и это можно доказать с полной строгостью несколькими разными путями. Мы очертим контуры одного из наиболее интересных доказательств, связанного с остроумными методологическими приемами и опирающегося на четкое определение того, что такое «автомат». Это доказательство использует результаты, полученные в тридцатых годах Аланом Тьюрингом.

«Машиной Тьюринга» называется автомат, имеющий несколько возможных «внутренних состояний» (например, положений колесика с фиксатором) и способный выполнять следующие действия: отличать зачерненный бумажный квадратик, помещенный в его «поле зрения» от незачерненного; стирать зачернение

или, наоборот, зачернять белый квадратик; двигаться влево или вправо на стандартное расстояние, равное стороне квадратика; переходить в новое внутреннее состояние; прекращать работу (отключаться). Каждое из действий однозначно определяется внутренним состоянием, имеющим место в данный момент, и видом обозреваемого квадратика; никакой «памяти» автомат не имеет.

Тьюринг выбрал именно эти свойства своей воображаемой машины потому, что они, по его мнению, определяют детерминированно ведущий себя объект с наиболее ясной структурой детерминизма, так сказать, составленный из «атомов детерминизма». Каждое следующее действие машины происходит абсолютно «механически» в том понимании этого слова, которое характерно для всех языков. Далее Тьюринг рассмотрел, как поведет себя такой автомат, если положить перед ним потенциально бесконечную ленту, на которой несколько расположенных рядом квадратиков будут зачернены. Оказалось, что всегда можно указать схему такой машины, которая, стерев часть зачернений или зачернив несколько белых квадратиков выключится и оставит на ленте такое число (число — это количество зачерненных квадратиков), которое связано с первоначальным числом заданной рекурсивной функцией. Это можно сформулировать так: для всякой рекурсивной функции можно построить эквивалентную машину Тьюринга. Но имеется и более сильный результат. Тьюринг показал, что все его машины можно занумеровать, а затем указать схему «универсальной машины», ведущей себя следующим образом: если ей дать ленту, на которой будет нанесено некоторое подлежащее переработке число и рядом отделенное пробелом число, равное номеру некоторой машины Тьюринга, то универсальная машина переработает первое число в такое, в которое переработала бы его соответствующая машина Тьюринга. Значит универсальная машина Тьюринга может делать все, что может делать аппарат рекурсивных функций в целом.

Остается узнать, может ли ЭВМ делать то, что может делать машина Тьюринга. Возможность производить механические действия как «зачернение квадратика» (его можно заменить намагничиванием элемента) и т. д. не подвергается сомнению. Так же легко реализовать «узнавание» квадратика. Остается осуществить с помощью электросхемы детерминированность нужного типа, согласно которой комбинация намагниченности элементов «памяти» (в данном случае память играет роль набора внутренних состояний) и предъявляемый «квадратик» (скажем, дырка в перфоленте) единственным образом определяли бы действие машины. Но ясно, что это — технический вопрос, не представляющий никакой сложности.

Итак, электронная вычислительная машина может в принципе произвести любую операцию над числами, дающуюся в виде рекурсивной функции или серии рекурсивных функций. Значит,

в разряд осуществимых на ЭВМ попадают и операции исследования натуральных чисел на пригодность для нумерации вывода и выписывания теорем, к которым ведет этот вывод (машина, строго говоря, отыскивает лишь геделев номер теоремы, но реконструкция по этому номеру вида формулы легко может быть автоматизирована). Значит свойство потенциальной осуществимости (ПО) интересующего нас процесса не ухудшается в результате перехода от теоретического рекурсивного аппарата к «живым» вычислительным машинам. Когда же мы переходим к оценке фактической осуществимости (ФО), учитывающей параметры современных компьютеров, то обнаруживается, что она является очень низкой. Какими бы эпитетами мы ни награждали нашу сегодняшнюю вычислительную технику, она оказывается невероятно маломощной перед лицом тех процедур, которые необходимо проделывать при выводе новых и новых теорем методом перебора натуральных чисел. Между ПО и ФО стоит барьер, воздвигнутый из фантастически громадных чисел.

Описанный метод становится нереализуемым на практике из-за того, что числа, являющиеся геделевыми номерами выводов, представляют собой очень редко стоящие в натуральном ряду сверхастрономические числа, расстояния между которыми все увеличиваются. Гёделев номер первого вывода, который встретится на нашем пути, есть номер аксиомы $(x_1 \to (x_2 \to x_1))$ (вывода, состоящего из одной формулы); вычислять его «вручную» пришлось бы около часа. Вот это число, найденное машиной: 44719452026527558704672374444640704730032639614228012104058589044284612109375000 всего 81 знак. Выписывать полностью гёделев номер одношагового «вывода» $((x_1 \to (x_2 \to x^3)) \to ((x_1 \to x_2) \to (x_1 \to x_3)))$ было бы слишком утомительно, поэтому мы приведем только приблизительное значение этого числа: $8{,}3185223 \cdot 10^{356}$. Что же касается номера вывода, состоящего из шести формул и ведущего к теореме $(x_1 \to x_1)$, то дать представление о его размерах можно только косвенно: число, выражающее этот номер, имело бы в десятичной системе записи 10^{400} знаков.

Отсюда можно сделать только один вывод: ФО «лобового» метода вывода теорем, при котором дерево разветвляется фронтально, не пропуская ни одной доказуемой теоремы, равна примерно нулю. Другими словами, на современном уровне развития кибернетики этот метод остается в той же мере чисто теоретическим, что и в начале двадцатого века. Правда, можно указать методы вывода «всех теорем» несколько более эффективные, чем приведенный, но время, затрачиваемое на наращивание дерева, получится так же грандиозно возрастающим с возрастанием номера теоремы. Поэтому естественным является желание использовать для получения теорем в принципе другой путь, опирающийся на помощь компьютеров.

Натолкнувшись на такие огромные числа, какие не под силу

обработать даже машине, мы поневоле должны отойти назад и при следующем штурме проблемы применить более гибкую тактику, в частности, уже от чего-то отказаться. И сколько бы мы ни думали, все равно мы в конце концов придем к выводу, что пожертвовать придется требованием выведения *всех* доказуемых теорем. Если невозможно продвинуть сколько-нибудь далеко построение всего дерева, приходится заняться построением его отдельных ветвей.

Но при этом немедленно встает вопрос: какие из ветвей более других представляют для нас интерес? К сожалению, по этому *поводу почти ничего нельзя* заранее сказать. Ценная теорема может быть достигнута при постепенном наращении вывода, который долгое время дает пустоцветы: самоочевидные или же слишком специальные, не имеющие широких приложений, теоремы.

Еще в конце пятидесятых годов математики-программисты начали изучать фактические возможности машинного вывода теорем и сразу же столкнулись с теми трудностями, о которых мы кратко здесь упомянули [2].

С тех пор мало что изменилось. Выступая 17 февраля 1972 г. с публичной лекцией в Политехническом музее, А. Н. Колмогоров назвал результаты машинного вывода теорем весьма убогими. Это толкает ученых, занимающихся данной проблемой, к тому, чтобы «обучать» ЭВМ принципам, которыми пользуется выводящий теоремы человек. Оказалось, что не имеется пока никакого более эффективного пути использования компьютеров для решения задачи, чем превращение их в некий «усилитель» нашей мысли, точнее каких-то ее частей, которые могут быть явно обнаружены. Мы добавили «частей» потому, что когда теорему выводит хороший математик, он употребляет, по-видимому, такие методы, которые остаются неизвестными ему самому; как раз эти методы, возможно, и обеспечивают быстрый успех. Ведь остается фактом, что машина JOHNIAC, действующая по «человекоподобной» программе «Логик-теоретик», вывела только 38 из 52-х теорем второй главы книги Рассела Б. и Уайтхеда А. „Principia Mathematica“ [1910], в то время, как авторы книги доказали все 52 теоремы.

Программы, рассчитанные на решение задачи с применением различных хитростей и обходных путей, называют эвристическими. Это слово можно слышать сейчас очень часто; многие возлагают на эвристическое программирование большие надежды. Нам представляется полезным сделать по этому поводу одно замечание. Иногда эвристические методы противопоставляют «алгоритмическим» методам. С методологической точки зрения это противопоставление неправильно; оно вредно, поскольку вызывает

[2] Подробные сведения об этих исследованиях содержатся в переводном сборнике «Вычислительные машины и мышление». М., 1967. Там же дана обширная библиография.

ассоциации, направляющие мысль в ошибочную сторону. «Неалгоритмичной» программы для ЭВМ не существует; даже если машина «обучается» в процессе выполнения некоторого вычислительного процесса, т. е. корректирует собственную программу, то эта коррекция совершенно однозначно была заложена в первоначальной программе. Если определить слово «эвристика» как «то, что не задано четким алгоритмом», термин «эвристическое программирование» станет внутренне противоречивым.

Возможно, сейчас и не следует искать точного определения понятия эвристических методов, находящихся в стадии «нащупывания»,— чтобы не отсекать заранее такие их элементы, которые могут оказаться весьма ценными; но можно определенно указать на одну постоянную черту эвристики: ее методы не дают *полного* решения проблемы и не обспечивают гарантии решения, а лишь дают какую-то разумную вероятность решения важных для нас сторон проблемы. Зато неполнота и ненадежность компенсируются быстрым выполнением программы. Специфику эвристической программы либо с самого начала определяет человек, либо ее вырабатывает машина в процессе счета, пользуясь теми принципами, которые заложены в ее программу опять-таки человеком. Человек же руководствуется своей выгодой, либо некоторыми данными из области психологии, социологии, техники планирования, футурологии и т. д. Поэтому методологически наиболее целесообразным было бы называть эвристическими такие программы, которые содержат в себе открытые характеристики. Подводя итог всему сказанному относительно свойства ФО процедур вывода теорем, можно заключить, что этим свойством обладают только процедуры открытого типа (эвристические), взаимодействующие со всем комплексом наук и общественной жизни.

Процесс познания в целом

Отношение теорем к познанию мира, как это было уже сказано выше, тоже является открытой характеристикой, поскольку о нем ничего нельзя сказать без учета особенностей всей нашей цивилизации. Но как раз поэтому здесь оказываются очень важными философский и методологический аспекты. Мы рассмотрим здесь две стороны необъятного вопроса об относящихся к познанию выводимых машиной теорем, связанных именно с «открытостью» вопроса.

А) Иногда можно встретить мнение, что необходимость решения проблем семантики и прагматики делает ценность компьютеров равной примерно нулю. Согласно этой точке зрения, самое большее, на что способны машины — это выполнять звенья формальных выкладок громоздких по количественным параметрам, но примитивных по качеству; а общая стратегия построения теории и выбор главной и промежуточных целей остается исключительной прерогативой человека, мыслящего «неформально». Деле-

ние всех интеллектуальных процессов на «формальные» и «неформальные» проводилось в свое время с такой настойчивостью, что даже после результатов Мак-Каллоха и Питтса и других теоретических фактов оно по инерции продолжает присутствовать на страницах научной и учебной литературы. Однако сейчас почти несомненным является следующее утверждение: «если наш мыслительный процесс является в принципе *детерминированным* процессом, хотя бы и определяющимся колоссальным числом факторов, то он является в принципе формализуемым — например, овеществленным в виде машинной программы, написанной на АЛГОЛе или другом формальном языке.

Какие же данные науки позволяют считать эту гипотезу весьма вероятной? В первую очередь, это — большое правдоподобие *принципа нормализации*. Указанный принцип, подтверждаемый множеством чрезвычайно убедительных косвенных аргументов, в частности, опытом в области математики, заключается в том, что всякий набор ясных и однозначных правил действия можно выразить в рамках некоторого формального аппарата, который А. А. Марков назвал «нормальными алгорифмами» (теперь они большей частью называются «алгорифмами Маркова»). Но если принять этот тезис, то можно строго доказать, что любое ясное и однозначное предписание может быть выражено на языке рекурсивного аппарата или на машинном языке.

Поставим теперь вопрос: определяется ли в каждый момент развитие нашей мысли материальными характеристиками нашего мозга, имеющимися на данный момент (в них входит распределение параметров, генетическая предрасположенность к чему-то, результаты нашей неповторимой биографии и т. д.) и состоянием окружающей среды в данный момент? Или же наш ум может выделывать «таинственные фокусы» (выражение Д. Гильберта) и поступать хотя бы в некоторых пределах «как ему заблагорассудится»? Если мы ответим на этот вопрос в духе детерминизма, а также примем принцип нормализации, то после этого будет непоследовательным считать, что ЭВМ не может по принципиальным причинам (из-за «формальности мышления») развивать содержательную науку и отбирать выводимые теоремы, руководствуясь семантическими и прагматическими соображениями. И наша позиция, по-видимому, не будет самопротиворечивой, если мы допустим, что сверхбыстродействующая, обладающая громадной памятью машина будущего, которой сообщат все данные некоторой научной области и все относящиеся к ней экспериментальные факты, сможет по соответствующим образцам составленной программы выполнять такую же работу, которую выполняет «живой» специалист в данной области, в частности, пытаться вывести (или доказать «задним числом») только те теоремы, которые имеют «содержательный» интерес.

Трудность здесь в другом. Человек, развивающий содержательную науку, имеет глаза, уши, гражданские чувства, опыт,

совершенствуется; он ездит по свету, смотрит телепередачи, ходит в кино и театры, слушает (или невольно слышит) радио, увлекается спортом, следит по популярной литературе за событиями в далеких от него науках, читает детективные романы г. д.— т. е. оказывается плотно вплетенным в общую ткань развития процесса человеческого познания, выдвигающего новые цели по мере осуществления или дискредитации прежних целей. И какой бы детерминированной ни была его мысль, она в каких-то пунктах, связанных с познанием окружающего мира (которые могут оказаться решающими пунктами!) будет определяться причинами, не влияющими на работу компьютера из-за небиологичности и несоциальности последнего. А. Н. Колмогоров выразил эту мысль примерно такими словами: чтобы научить компьютер писать стихи на уровне хорошего поэта, нужно запрограммировать в нем всю историю нашей цивилизации.

Общее развитие естествознания, обществоведения, истории, лингвистики и любой другой конкретной науки, представляющее собой часть общего развития человеческой культуры, будет всегда идти по путям, диктуемым самими людьми, использующими компьютеры как подсобные ценные инструменты. В частности, явно открытым характером обладают все вопросы, связанные с интерпретацией знаковых теорий.

Б) Еще в средние века высказывались взгляды, что формальная логика «не дает нового знания», что она по своей природе тавтологична. Если принять эту доктрину, то ее нужно сразу же распространить и на математическую логику, на формальный вывод теорем. Ясно, что это сильно отразится на нашей оценке такого свойства машинного вывода, как «отношение к познанию». Любая выводимая теорема «заложена» в аксиоматике и правилах вывода. Получаем ли мы, вместе с получением теоремы с помощью компьютера, «истинно новое знание»?

Интересно напомнить, что о тавтологичности машинного вывода писала еще леди Августа Лавлейс, благодаря которой нам известны многие подробности устройства машины Беббиджа — универсальной цифровой вычислительной машины, сконструированной еще в первой половине прошлого века. В своем противопоставлении машинного и человеческого интеллекта леди Лавлейс высказывает убеждение, что машина делает только то, что в нее заложено человеком. Тьюринг убедительно опроверг это возражение тезису о том, что машина может давать новое знание [см.: Тьюринг А., 1960, с. 43 и далее].

Мы затронем этот вопрос лишь в той мере, в какой это способствует углубленному пониманию характеристики познания, которую мы назвали «открытостью». Прежде всего укажем, что идея тавтологичности формального вывода является ошибочной *в корне*, что она отвергается не в силу технических, а в силу принципиальных соображений. В теории алгоритмов Чёрчем в 1936 г. доказан следующий факт: существует перечислимое, но не раз-

решимое множество. Это означает, что можно фактически построить алгоритм (т. е. создать машинную программу), согласно которому на бумаге будут печататься друг за другом какие-то натуральные числа, но никто никогда не сможет предсказать, будут ли напечатаны по этой программе некоторые конкретные натуральные числа. Эта теорема заставляет взглянуть на детерминированность машинного процесса по-иному.

Обычно говорят: работа компьютера, конечно, определена однозначно его программой, но счет идет так быстро, что мы не успеем предвидеть, что будет получено. В таком подходе явно не учитывается результат Чёрча, являющийся одним из центральных фактов теории алгоритмов. По тексту программы, о которой только что было сказано, *в принципе* невозможно установить, будет ли когда-либо выведено, например, число 731. Это звучит несколько парадоксально, так как, казалось бы, в конечном тексте заложена полная конечная информация о всей процедуре, определяемой этим текстом. Разгадка парадокса состоит в том, что, начиная с некоторого нижнего порога длины, программы могут иметь, так сказать, *исследовательский характер*. Вообразим, что простые арифметические действия переведены на алгоритмический язык компьютера (это сделать, конечно, можно). Теперь представим, что написана программа, сводящаяся к следующему указанию: «Исследуй натуральные числа одно за другим и проверяй, выполняется ли такое-то свойство (например, является ли это число номером четверки, удовлетворяющей теореме Ферма)».

В этом случае текст получился вполне конечным (при переводе на машинный язык он, вероятно, удлинится, но останется конечным), но это вовсе не означает, что по нему можно установить, окончится ли вычисление, направляемое этим текстом. Чтобы установить это, возможно, потребуется развитие математики, появление новых идей и т. д. Этот пример можно модифицировать так, что неустановленным останется печатание или не печатание какого-то числа. Следовательно, для ответа, будет ли напечатано по данной конечной программе данное конкретное число, понадобится «моделировать» всю человеческую цивилизацию, как и в случае, указанном А. Н. Колмогоровым. Таким образом, теорема Чёрча устанавливает *существование открытых характеристик чисто математических объектов*.

Интересно заметить, что от теоремы Чёрча один шаг до теоремы Гёделя (*вторая, правда, была доказана раньше, но сейчас, пожалуй, лучше в курсе логики сначала доказывать первую теорему, а затем из нее получать вторую*). Это подсказывает, что и теорема Гёделя имеет прямое отношение к развертывающемуся процессу исследовательского типа, то есть к алгоритму «изучай». Так мы снова приходим к прямой связи между индетерминизмом и открытостью.

Нужно указать еще, что утверждение о тавтологичности математики имеет явный привкус платонизма: для того чтобы утверж-

дать, будто проводимый по формальным правилам вывод не даст приращения информации, а лишь переводит информацию из одной формы в другую, нужно предполагать, что информация существует где-то сразу целиком со всеми своими частными утверждениями. Если же подходить к проблеме диалектически, выполняя указание В. И. Ленина и прослеживая, как из неполного знания рождается более полное знание, тогда неизбежно придется сделать вывод, что получение новых аппаратных средств, каковыми являются выводимые формальным методом соотношения, имеет прямую связь с процессом добычи нового знания. Тем не менее с многочисленными оговорками к информации можно отнести характеристику «открытость». Можно также уговориться называть «истинно новой» лишь предельно открытую информацию. Тогда компьютер, конечно, никогда не сможет разработать или узнать чего-то истинно нового. Но нужно учесть, что при таком понимании термина, по-настоящему нового знания не сможет получить и ни один отдельно взятый человек и даже никакая группа людей. Они смогут внести лишь небольшой частный вклад в огромное целое истины, которая разворачивается как результат совокупной мыслительной и практически-преобразующей деятельности всех людей, оснащенных всеми орудиями производства и инструментами познания. Если толковать новизну знания как предельную открытость, то, действительно, никакие кибернетические устройства не обеспечат нам получения такого знания — познания людской цивилизацией самой себя и своего места в материальном мире,— ибо кибернетика составляет лишь часть цивилизации.

Но так категорично ставить вопрос нет надобности. Само становление человеческого суммарного знания как системы, обращенной и во внешний мир и внутрь себя, вечно растущей и перестраивающейся совокупности изложенных в книгах и зреющих в умах людей теорий, фиксированных фактов, передаваемых из поколения в поколение научных методов и приемов исследования, убеждений, мнений и т. д.,— все это имеет сложный «турбулентный» характер. В этой грандиозной системе то и дело возникают замкнутые или почти замкнутые массы, упорядочение которых может слабо зависеть от движения остальных масс. Нет сомнения, что в таких, естественно или специально отгороженных (временно!) от всей системы познания областях удельный вес теоретической работы, выполняемой ЭВМ (существенную часть которой составляет вывод формальных соотношений между знаками), будет постоянно возрастать, поскольку с совершенствованием счетной техники будет расти фактическая осуществимость таких процедур. Следует ясно понимать, что в *замкнутых* областях исследования человек не имеет «прирожденных» преимуществ перед компьютером, поскольку области потенциально осуществимых процедур человека и машины в этом случае совпадают. Поэтому мы не должны считать, что машина может выполнять (в этих областях!) лишь работу низшего сорта.

Литература

Бурбаки Н. Очерки по истории математики. М., 1963.
Ньюэлл А., Шоу Дж. и *Саймон Г.* Программа для игры в шахматы и проблема сложности.— «Вычислительные машины и мышление». М., 1967.
Тьюринг А. Может ли машина мыслить. М., 1960.
Френкель А., Бар-Хиллел И. Основания теории множеств. М., 1966.
Bell E. Men of Mathematics. N. Y., 1961.
Whitehead A. N. and *Russel B.* Principia mathematica, t. 1, Cambridge, 1910.

О ФОРМАЛЬНЫХ И НЕФОРМАЛЬНЫХ КОМПОНЕНТАХ В РЕШЕНИИ ЗАДАЧ ЧЕЛОВЕКОМ И ЭВМ

Ю. В. Орфеев

То, что могут делать и делают электронные вычислительные машины, это — достаточно освещенный в литературе вопрос. Другой вопрос: «Что не могут делать современные ЭВМ?» Если рассматривать последний вопрос не под углом зрения технических ограничений, свойственных любой машине (объем памяти, быстродействие и т. п.), а в плане принципиальной ограниченности того класса информационных вопросов, которые могут быть реализованы на ЭВМ, то этот вопрос является серьезной философской проблемой, все еще недостаточно исследованной.

Так как наиболее сложные формы переработки информации осуществляются в так называемых программах «машинного мышления», то вопрос — «что могут и что не могут делать современные ЭВМ?»— по существу совпадает с проблемой соотношения мышления человека и машины.

Все возрастающая роль ЭВМ в жизни современного общества делает рассмотрение этого вопроса весьма актуальной задачей, имеющей не только гносеологический, но и прикладной аспект. Проблема соотношения мышления человека и машины может исследоваться в плане понимания диалектики перехода неформальных компонентов мыслительной деятельности в формализуемые объективированные операции.

В этой связи необходимо обратить внимание на то, что проблема соотношения мышления человека и возможностей ЭВМ тесно связана с проблемой соотношения логики и психологии.

В философском плане психологизм в логике был преодолен в начале XX в. Так, в генетической психологии Жана Пиаже логика рассматривается как теория доказательного рассуждения, в то время как психология, занимаясь анализом фактического протекания познавательных процессов, изучает иные, отличные от логики специфически психологические закономерности [1]. В этом пла-

[1] Проблемы соотношения логики и психологии подробно рассматриваются в книге Бет и Пиаже [1961], где на большом экспериментальном материа-

не можно говорить об определенной автономности сферы логического и психологического.

Если бы современный аппарат «машинного мышления» и «распознавания образов» целиком сводился бы к какой-либо дедуктивной системе, то проблему соотношения мышления человека и возможностей ЭВМ было бы легко решить, обратив внимание на автономность сферы логического и психологического. Однако техника «машинного мышления» и «распознавания образов» предполагает использование не только явно дедуктивных процедур, но и «эвристик», «выводов по аналогии», обучения на основе «опыта» и других приемов переработки информации, дедуктивный характер которых далеко не очевиден.

Саймон и Ньювелл в 1958 г. предложили интерпретировать мышление человека как сложный процесс переработки информации, управляемой эвристическими приемами. Тем самым возникла дополнительная проблема, в какой степени эвристическая программа может служить теорией процессов мыслительной деятельности человека.

Рассматриваемая в данной работе проблема критики концепции машинного мышления, конечно, не нова для философских проблем кибернетики. Эти вопросы в той или иной мере анализируются в монографиях В. С. Тюхтина [1963], Новика И. Б. [1969], Украинцева Б. С. [1972], Спиркина А. Г. [1972] и в других работах советских философов.

Опираясь на марксистское понимание природы человеческого мышления, П. В. Копнин писал: «То, что выполняет машина, конечно, не является мышлением, и это понимают даже многие из тех мыслителей, кто далеко стоит от марксизма. Мыслить может только человек, точнее — человечество» [1973, с. 117].

Критический анализ концепции «машинного мышления» с позиций соотношения формальных и неформальных компонент в настоящее время еще недостаточно изучен. В этой статье мы попытаемся доказать, что возникающие «осложнения» в «машинном мышлении» носят не временный и, в конечном счете, преодолимый характер, а принципиальный непреодолимый существующими техническими средствами характер. Эти трудности и «осложнения», которые постоянно отягощат усилия по моделированию психических функций кибернетическими методами, следует интерпретировать как следствие метафизических посылок, составляющих основу информационного моделирования. Действительно, в основе информационного моделирования лежат два далеко не очевидных допущения, которые, в частности, явно выражены в работе Дрейфуса [1965].

1. Познавательный процесс может быть воспроизведен функ-

ле показано, что возникновению гипотетико-дедуктивного мышления у человека предшествуют фазы сенсомоторного интеллекта и предметной деятельности.

ционально, т. е. сведен к процессам переработки информации, которые могут быть реализованы на ЭВМ в отрыве от живого субстрата.

2. Эти объективированные информационные процессы имеют характер дискретных актов преобразования информации.

Такие допущения нельзя расценить иначе, как попытки логизации психологии, которые так же неприемлемы, как и тенденции психологизма в логике.

Законы поведения и мотивы деятельности

Формализуемо ли человеческое мышление? От решения этого вопроса зависит и решение всей проблемы соотношения мышления человека и возможностей ЭВМ.

Одно из серьезных возражений против «машинного мышления» сводится к следующему: «Невозможно разработать систему правил, которая бы описывала, что должен делать человек в каждой мыслимой комбинации обстоятельств».

Как известно, А. Тьюринг пытался опровергнуть этот тезис. Рассмотрим более подробно аргументацию Тьюринга [1960, с. 46—47]. Опровержение Тьюринга основано на замене понятия «правила поведения» более общим понятием «законы поведения». Приведем аргументацию Тьюринга:

«Под «законами поведения» я понимаю управляющие человеком естественные законы, например, «если человека ущипнуть, он вскрикнет». Если в приведенном выше рассуждении вместо «правил действия, которыми человек руководствуется в своей жизни», подставить «законы поведения», управляемые жизнью человека», то ошибка, связанная с нераспределенностью термина, оказывается вполне устранимой. Ибо мы убеждены не только в том, что быть управляемым законами поведения — значит надо быть в некотором роде машиной (не обязательно быть машиной с дискретными состояниями), но и, наоборот, быть такой машиной означает быть управляемым законами поведения. Однако в отсутствии законов поведения, которые в своей совокупности полностью определяли бы нашу жизнь, нельзя убедиться столь же легко, как в отсутствии законченного списка правил действия. Единственно известный нам способ отыскания таких законов есть научное наблюдение, и, конечно, мы никогда и ни при каких обстоятельствах не можем сказать: «Мы уже достаточно исследовали. Законов, которые полностью бы определяли нашу жизнь и поведение, не существует».

Из этой цитаты видно, что Тьюринг ставит вопрос о возможности моделирования мышления человека не только на машинах дискретного типа, но и на каких-либо машинах иного типа. Но что такое машины не дискретного типа?

Если иметь в виду под машинами недискретного типа, например дифференциальные анализаторы, или нейронные сети с каким-либо плавным способом передачи возбуждений, то, насколько

нам известно, в этом направлении не было получено сколько-нибудь содержательных моделей мышления человека.

Содержательное рассмотрение вопроса о соотношении мышления человека и машины может быть проведено только при условии, когда класс машин, на которых моделируется мышление, фиксирован, т. е. ясны способы преобразования информации в машине. Постановка же проблемы соотношения мышления человека и машины без конкретизации самого понятия машины приводит к спору большей частью мировоззренческого, чем специально научного характера.

В данной статье рассматривается только вопрос о моделируемости мышления человека на универсальных цифровых электронных вычислительных машинах.

В связи с этим проблема формализуемости поведения важна при понимании характера соотношения мышления человека и возможностей ЭВМ.

Из вышеприведенного высказывания Тьюринга видно, что он допускает возможность отсутствия «правил поведения» при анализе какого-либо акта поведения, но он в этом случае утверждает, что такие правила можно открыть в процессе научного анализа.

На первый взгляд, аргументация Тьюринга выглядит весьма убедительно, однако она содержит в себе довольно туманные предположения (это, по-видимому, сознавал и сам Тьюринг), а поэтому вызывает вполне законные вопросы и возражения. Во-первых, в какой мере понятие «законы поведения», возникшее как инструмент научного объяснения при исследовании физической реальности, применимо к человеческому поведению и мышлению? Во-вторых, наличие определенных законов поведения человека еще не значит, что эти законы могут быть сведены к правилам преобразования информации и моделированы на дискретных ЭВМ, которые в настоящее время являются единственной в своем роде универсальной системой для переработки информации по любым четко описанным правилам. Применение понятия «закон поведения» к человеческому телу как физико-химической системе вполне оправдано, но объяснение поведения человека с его помощью едва ли возможно, так как не существует какого-либо однозначного соответствия между физическими состояниями человеческого тела и психическими процессами. Иными словами, Тьюринг игнорирует всю сложность психофизической проблемы.

С другой стороны, описание человеческого поведения в рамках только операционного аспекта или, другими словами, попытки вскрыть какие-либо «законы поведения», которые бы носили только объективный характер, и тем самым исключили бы личностный мотивационный его аспект, неприемлемо для психологии.

Описание операционной объективированной стороны поведения, которую, конечно, можно характеризовать в терминах процессов переработки информации, еще не достаточно для полной характеристики поведения. При одном и том же мотиве операци-

онный состав действия может быть разным и наоборот (что особенно важно в данном случае): одинаковый операционный состав действий может соответствовать различным мотивам.

Л. С. Выготский еще в 30-х годах писал о мотивирующей сфере как фундаментальной характеристике человеческого поведения: «Мысль — не последняя инстанция. Сама мысль рождается не из другой мысли, а из мотивирующей сферы нашего сознания, которая отражает наши влечения и потребности, наши интересы и побуждения, наши аффекты и эмоции. За мыслью стоит аффективная и волевая тенденция. Только она может дать ответ на последнее «почему» в «анализе мышления» [1956, с. 379].

Для конкретизации вышеупомянутых соображений можно привести такой пример: человек разбил окно; в одном случае это действие может считаться разумным, в другом — нет. Если человек разбил окно для того, чтобы быстро сообщить другому человеку на улице, что в его комнате пожар — это, вне сомнения, разумное действие. Если же окно было разбито случайно — это не разумное действие (в этом действии интеллект не участвовал). Заметим, что в обоих случаях операционный состав действия приблизительно одинаков, но различны мотивы (фактически, во втором случае мотив отсутствует). Другой пример можно привести из юридической науки. Как известно, суд должен выявить не только действия того или иного преступника, но и мотивы, которыми руководствовался подсудимый. Например, убийство без злого умысла и преднамеренное убийство юридической наукой классифицируются совершенно по-разному. Еще более убедительные примеры можно привести из области тактики и стратегии ведения военных действий. Например, получено сообщение о концентрации войск противника на участке фронта *B*. Это сообщение можно истолковать по-разному: 1) противник хочет совершить прорыв обороны на участке фронта *B*; 2) противник этим действием хочет отвлечь наше внимание от участка фронта *A* и совершить прорыв обороны на этом участке. Таким образом, рассмотрение операционного состава действия вне цели и мотива действия недостаточно для характеристики разумного поведения. Все это свидетельствует о том, как трудно изолировать проявления операционного состава интеллекта от других психических процессов.

Не случайно в советской психологии и генетической психологии Пиаже проводится различие между действиями и операциями. В понятие действия обычно включается такая характеристика, как мотив, т. е. потребность, которая должна быть удовлетворена данным действием. Под операцией разумеется конкретный объективированный способ выполнения действия.

Между действиями и операциями нет взаимооднозначного соответствия. Одним и тем же действиям могут соответствовать различные операции, и наоборот, одни и те же операции, выполняемые при различных мотивах, образуют различные действия.

Следовательно, если предполагать формализуемость в сущест-

венных чертах процессов человеческого мышления, то необходимо предположить и формализуемость (т. е. в данном случае программируемость) человеческих мотивов, эмоций, аффектов. Но эмоционально-мотивационная сфера не может быть понята как система обычной переработки информации хотя бы потому, что она является своего рода метасистемой регулирования самих информационных процессов человеческого мышления. К тому же между эмоционально-мотивационной сферой и функционально-операционной сферой, как показано выше, нет какого-либо прямого соответствия.

Проблема машинного перевода и неформализуемые компоненты в естественном языке

Работы по машинному переводу с одного языка на другой в теоретическом отношении тесно связаны с проблемами «искусственного интеллекта», поэтому природа трудностей, стоящих перед машинным переводом и «искусственным мышлением», одна и та же. И. Бар-Хиллел, достаточно авторитетный специалист в этой области, пришел к пессимистическому выводу о перспективах машинного перевода. Приведем его высказывание по этому поводу: «Нет никакой перспективы того, что применение электронных счетных машин может привести к каким-то революционным изменениям в области перевода. Использование полностью самостоятельного автомата для выполнения подобной работы является совершенной утопией уже потому, что книги и журналы обычно пишутся для читателей, которые обладают определенной общеобразовательной подготовкой и способны логически мыслить; даже самое искусное использование всех формальных признаков речи не может ни достичь, ни превзойти логическое мышление человека» [1969, с. 118].

Для того чтобы пояснить природу трудностей, с которыми сталкиваются специалисты по машинному переводу, Дрейфус [1965] предлагает провести различие между порождением грамматически осмысленных предложений и пониманием таких предложений в реальных ситуациях человеческого общения. Если даже предположить, что удалось построить формальную грамматику, порождающую только такие предложения, которые естественный носитель языка признает всегда грамматически правильными и осмысленными, тем не менее останется принципиальная трудность, которая состоит в следующем. В некоторых случаях естественный пользователь способен однозначно истолковать предложение, которое согласно правилам может быть порождено несколькими различными способами и тем самым должно иметь несколько различных грамматических структур разбора, а следовательно, несколько законных смыслов. Например, предложение «Косы были уложены». В зависимости от того, идет ли речь о сельскохозяйственных орудиях или о волосах женщины, зависит наше понимание этого высказывания. Для того, чтобы ликвидировать

двусмысленность, человек обращается и к своим знаниям о мире, и к контексту, т. е. ситуации.

Одним из способов ликвидации двусмысленности тех или иных предложений может служить знание человека об окружающем мире. Для этого необходимо записать в память машины знания человека о фактах окружающего мира, если мы хотим получить более качественный перевод. Но нельзя достаточно компактно записать ту информацию о мире, которую знает человек, так как в настоящее время нет ни одной машины, способной запомнить достаточно большое количество данных и в то же время иметь приемлемое время выборки информации. Но даже если эти технические ограничения могут быть ликвидированы со временем, тем не менее остаются другие трудности, носящие принципиальный характер.

Обращения к фактам внешнего мира, т. е. к экстралингвистической информации, далеко не всегда способствуют раскрытию двусмысленности языка, так как в большинстве случаев обращение к контексту является более важным, потому что контекст придает определенное значение и самим фактам [2]. Только в определенной, конкретной ситуации факты получают интерпретацию.

Но число признаков, которые могут полностью идентифицировать ситуацию, бесконечно, если эта ситуация взята из реальной жизни. Тот факт, что ситуация не может быть охарактеризована конечным набором признаков, хорошо иллюстрирует отрывок из русской народной сказки. «Дурак, помня вчерашнее наставление, зашумел в превеликий голос: «носить вам — не переносить, таскать — не перетаскать». Опять отдули его. Дурак воротился к матери и рассказал ей, что его прибили. Ты бы, дитятко, сказал им: «Канун да ладан». Такие слова глубоко пали дураку в ум-разум.

[2] Лингвистическая философия (поздний Л. Витгенштейн, Г. Райл, Дж. Уисдом и др.) в свое время резко выступала против формализованных методов исследования естественных языков. В связи с этим достаточно упомянуть тезис Л. Витгенштейна, утверждающий, что значение слова — это способ его употребления, а также его утверждение о том, что нельзя указать все нормативные правила, управляющие естественным языком. В. И. Кураев [1972, с. 101—102] следующим образом характеризовал позицию лингвистической философии по проблеме формализуемости естественных языков: «Сопоставляя логические свойства искусственных (формализованных) и естественных (разговорных) языков, лингвистические философы подчеркивают огромное многообразие функций и способов употребления как языка в целом, так и отдельных его элементов, значение которых зависит от цели, которую преследует говорящий, от места и времени, контекста и многих других факторов, обусловленных включенностью языка в систему коммуникационных связей между людьми, что делает слова и выражения естественных языков «многомерными», изменчивыми, неопределенными в отличие от однозначности, жесткости, неизменности и «бедности» выражений искусственных формализованных языков».

Понятие «контекст» может обозначать не только языковые связи некоторого выражения с другими. Например, Л. Витгенштейн связывал лингвистический контекст с внеязыковым контекстом, т. е. с ситуацией.

На другой день пошел он опять бродить по селу. Вот свадьба едет ему навстречу. Дурак откашлялся, закричал, как только свадьба с ним поравнялась: «Канун да ладан?». Пьяные мужики соскочили с телеги и прибили его жестоко»... «Вот на конце села занялся овин мужика. Дурак со всех ног побежал туда; забежал против овина и ну плясать да играть в свою дудочку. И тут дурака отколотили. Он опять пришел к матери со слезами и рассказывает, за что его побили. Мать ему сказала: «Ты бы, дитятко, взял бы воды, да заливал с ними». Через три дня, как зажили у дурака бока, пошел он бродить по селу. Вот видит: мужик свинью палит. Дурак схватил у мимо шедшей бабы ведро с водой, побежал туда и начал заливать огонь, и тут дурака порядком побили». [Афанасьев А. Н., 1957, с. 201].

Весь «драматизм» героя этой сказки состоит в том, что отдельные, выхваченные из контекста признаки ситуации еще не характеризуют ее полностью, а следовательно, и способ действия в этой ситуации. Чтобы распознать аналогичную ситуацию, т. е. отнести ее к соответствующему классу ситуаций, необходимо опираться либо на существенные (а не любые) признаки, иначе мы будем иметь бесконечное число признаков. И то и другое не реализуется современными методами распознавания с помощью ЭВМ. Но для того, чтобы выделить существенные признаки ситуации, необходимо включить данную ситуацию в более широкий контекст. В то время как машинная программа создается при фиксированном контексте.

Дрейфус [1965], анализируя возможности машинного перевода естественного языка, обращает внимание на возникающий в этом случае парадокс. С одной стороны, всегда должен существовать более широкий контекст для проведения формализации, так как в противном случае у нас не будет метаязыка для записи процесса формализации. С другой стороны, должен существовать окончательный контекст, с которого можно начать формализацию; в противном случае будет бесконечный регресс контекстов.

Некоторые авторы двусмысленность языковых выражений связывают с тем обстоятельством, что в естественном языке все метатеоретические высказывания о языке выразимы в этом же языке, т. е. в естественном языке нет различия между языком-объектом и метаязыком. Таким образом, двусмысленность языка связывается с парадоксами математической логики.

Итак, преодоление многозначности естественного языка, которое необходимо осуществить для эффективного машинного перевода, невозможно осуществить средствами формализации. В то же время люди, совершая акты коммуникации, находясь в определенных ситуациях, это довольно легко осуществляют: «чувство ситуации» позволяет уменьшить двусмысленность ситуаций настолько, насколько это необходимо в реальной жизни. К аналогичным выводам приходят В. В. Налимов и З. М. Мульченко, используя понятие полиморфности языка [1972, с. 98—131].

Распознание «образов» на ЭВМ и психология восприятия

Начиная с 50-х годов в области кибернетики предпринимались энергичные усилия по обучению машин классификации (узнаванию) зрительных образов. Сформировалось, по существу, новое направление в кибернетике, называемое «распознание образов». Но фактически задачи, решаемые методами «распознания образов», не эквивалентны проблемам восприятия образов и визуальному мышлению человека. Главная задача, решаемая вычислительной машиной при распознавании образов, состоит в отнесении данного объекта, характеризуемого набором признаков и их конкретными значениями, к определенному классу. Тем самым решается задача идентификации или классификации. Однако сам психический процесс формирования образа предмета методами распознания образов не моделируется.

Существующие методы распознания образов используют много всевозможного рода остроумных приемов для разделения ситуаций на классы. Но все эти методы так или иначе предполагают фиксированный наперед заданный набор признаков. Исходные допущения, особенности и возможности кибернетических методов распознавания образов проанализированы в работе В. С. Тюхтина [1973].

Остановимся на различиях между распознаванием, осуществляемым человеком и ЭВМ. Эти различия весьма значительны. Такие простые свойства внешних предметов, как прямизна, связность и т. п., не могут быть непосредственно восприняты ЭВМ; они должны быть переданы машине через сложную систему уравнений. По координатам соответствующих точек машина определяет: прямая это или кривая линия. Машина не может предпочесть одну комбинацию фигур другой, если не дано заранее извне заданных критериев предпочтения. Человек же при выборе той или иной комбинации фигур руководствуется внутренне присущими, либо самостоятельно выработанными критериями.

Для того чтобы сопоставить способы опознания образов, используемые человеком и машиной, необходимо обратиться к существующим психологическим теориям восприятия.

В психологии восприятия обычно проводится различие между сукцессивным и симультанным узнаванием. Для того чтобы показать принципиальное различие в механизмах симультанного (мгновенного) и сукцессивного (распределенного во времени) узнавания, приведем несколько примеров.

1. Любой грамотный человек способен распознать рукописные буквы и в то же время он не может идентифицировать признаки, на основе которых производится это опознание.

Именно потому, что для рукописных букв невозможно выделить необходимый и достаточный список признаков, современные ЭВМ могут воспринимать только нормализованный шрифт, а не рукописный. Были затрачены большие усилия на то, чтобы ма-

шина была способна воспринимать любой рукописный текст. Неразрешимость данной задачи состоит, по-видимому, в том, что симультанное узнавание не может быть заменено сукцессивным узнаванием при восприятии рукописных букв.

2. Существует множество объектов, которые мы мгновенно распознаем, не перечисляя их признаков, хотя эти признаки известны. Например, мы распознаем треугольник или квадрат, круг, не перечисляя мысленно их свойств.

Современные ЭВМ, снабженные соответствующей программой, также могут легко производить распознание этих фигур, но для этого в ЭВМ должны быть заложены четкие критерии различия между кругом, квадратом, треугольником.

3. Если человеку необходимо отличить 20-ти этажный дом от 21-го этажного дома одинаковой высоты или различить многоугольник с двадцатью сторонами от многоугольника с 19-ю сторонами, то в этом случае необходимо наличие четких признаков того или иного образа; симультанное восприятие в этих случаях неэффективно. При решении подобного рода задач ЭВМ могут превосходить человека, если число признаков, необходимых для идентификации, достаточно велико.

Различие между симультанным и сукцессивным узнаванием носит принципиальный характер. Многочисленные психологические исследования процессов восприятия показывают, что симультанное узнавание — это не свернутое быстропротекаемое сукцессивное узнавание, психический процесс особого рода, основывающийся на учете «внешнего вида фигуры», «формы всей фигуры в целом», на восприятии контекста, фона и т. п. Иными словами, это — распознание, основанное на *целостных* признаках [подр. см.: Шехтер М. С., 1967].

Психология восприятия рассматривает симультанное узнавание как деятельность, совершаемую без последовательного анализа признаков воспринимаемого объекта. Сукцессивное узнавание в процессе тренировки (обучения) переходит в симультанное. Но для такого перехода необходимо наличие идеального плана отражения, который и является специфически человеческой формой отражения действительности.

Вполне понятно, что те информационные процессы, которые могут быть воспроизведены на ЭВМ, мало что проясняют в проблеме идеального. Отсутствие в ЭВМ идеального плана в конечном счете является, на наш взгляд, главным препятствием для реализации на ЭВМ высокоэффективного симультанного узнавания.

Приведенное выше различие между симультанным и сукцессивным узнаванием позволяет объяснить тот кризис, который переживают сейчас шахматные программы. Двадцатилетние усилия по созданию программ, способных играть в шахматы, обеспечили программам уровень игры не выше начинающего шахматиста. Это не связано с тем, что машины не могут просчитывать варианты на достаточную глубину вперед из-за ограниченности быстродействия

и объема памяти. Просчет вариантов как раз не обязателен для ведения хорошей игры [см.: Тихомиров О. К., Позднянская Э. Д., 1966]. Психология шахматной игры указывает, что опытный шахматист не просчитывает варианты, а узнает, «схватывая» в целом ту или иную позицию и эффективные ходы в этой позиции. В узнавании шахматных позиций, по-видимому, большую роль играет симультанное восприятие, которое не может быть заменено сукцессивным, так как та или иная шахматная позиция (как и при опознании рукописных букв) не может быть охарактеризована исчерпывающим набором признаков, наличие которых необходимо для машинной классификации позиций.

Кроме рассмотренной выше классификации процессов восприятия на симультанные и сукцессивные в психологии восприятия проводится также различие между когнитивными и оперативными образами. Д. А. Ошанин следующим образом характеризует эти два класса образов. «С одной стороны, *когнитивные образы*...— образы — склады, кладовые, в которых сосредоточена вся доступная субъекту информация об объекте, независимо от ее конкретного предназначения... С другой стороны, *оперативные образы* — образы, возникающие в процессе выполнения практических действий с объектами, подчиненные задачам этих действий, формирующиеся по мере возникновения этих задач и адекватные им, предназначенные и приспособленные специально для решения этих задач» [1970, с. 290].

Хотя кибернетические методы распознания образов сделали определенные успехи в области распознания когнитивных образов, тем не менее проблема формирования у современных ЭВМ оперативных образов оказалась неразрешимой. Всю сложность формирования оперативного образа показывают хорошо известные данные феноменологической психологии, которая указывает на экспериментально наблюдаемый факт подвижности границ между телом субъекта и его внешним миром. Поэтому части собственного тела иногда могут восприниматься как внутренний мир или как внешний мир в зависимости от условий восприятия. Например, при остригании ногтей, рука, которая проводит эту процедуру, принадлежит к внутреннему миру, а другая рука к «внешнему миру». При зубной боли человек может как бы локализовать боль и вынести о ней свое суждение. В это время происходит как бы отделение наблюдателя от наблюдаемого, подобно ситуации «Я» и внешний мир. В оперативном образе, следовательно, возможна подвижность границ «субъект — объект». Аналогичные сдвиги границ субъект — объект и образование своего рода нерасторжимого единства с объектом происходят так же и при эмоциональных и эстетических переживаниях.

Рассмотренные выше примеры показывают, насколько далеки принципы, используемые в автоматическом опознании образов от реальных познавательных процессов человека.

Тем не менее ряд интересных технических приемов в опознании образов был предложен кибернетиками. Существующая практика опознания образов пошла по пути совместного решения этих задач человеком и машиной в режиме диалога.

Таким образом, уникальные способности человека не исключаются из опознания, а, наоборот, технические средства дополняют и усиливают эти способности за счет освобождения человека от рутинных операций.

Наконец, рассмотрим общие проблемы соотношения возможностей человека и ЭВМ.

Диалектическому материализму чужды как механистические идеи, утверждающие сводимость познавательных процессов человека к «мышлению» машины, идеи о замене умственного труда человека «трудом» кибернетических роботов, так и абсолютизации неформальных моментов человеческого мышления. В последнем случае усилия в области автоматизации мыслительных процессов рассматриваются в качестве «алхимии» двадцатого века.

Тезис К. Маркса, утверждающий, что машины являются органами человеческого мозга, созданными человеческой рукой [3], может быть применен и к электронным вычислительным машинам, которые представляют собой лишь инструменты автоматизации умственного труда человека. Таким образом, с точки зрения марксизма нет принципиального различия в использовании человеком орудий труда (микроскоп, пишущая машинка и т. п.) и применением «машинного мышления» как средства повышения эффективности умственного труда.

Вычислительным машинам передаются наиболее рутинные, однообразные операции, в то время, как человек неизбежно оставляет за собой неформализуемые, творческие действия.

Иллюзия превосходства «машинного мышления» над человеческим является следствием неправильного понимания диалектики взаимодействия формальных и неформальных компонентов в мыслительной деятельности человека. Только при определенных условиях действие может перейти в операцию. Характерной чертой операций является то, что они могут быть экстериоризованы, формализованы, а поэтому переданы вычислительным машинам. Это является принципиальным моментом для правильного понимания проблемы соотношения мышления и машины. Одним из условий трансформации действия в операции является, например, включение его в состав некоторого другого действия более высокого уровня в качестве обслуживающего его звена. А. Н. Леонтьев [1970] следующим образом характеризует рассматриваемую здесь проблему:

«Поставим эту проблему так: может ли человек передать машине выполнение любых процессов мышления? Из сказанного выше вытекает двоякий ответ: нет и да.

[3] См. *Маркс К.* и *Энгельс Ф.* Сочинения, т. 46, г. II, с. 215.

Нет, потому что машине могут быть переданы только операции, т. е. как бы «отслаивающиеся» от живой субъективной и пристрастной мыслительной деятельности человека процессы, отражающие объективные связи и отношения, которые сами становятся предметом анализа и формализации.

Да, потому что это «отслаивание» есть процесс, происходящий постоянно, безгранично.

То, что сегодня есть открытие, творческое решение, завтра становится способом реализации. Сегодня процессы, недоступные для машины, завтра могут быть формализованы и поручены машине». Сторонники «машинного мышления» правы, когда они предполагают безграничность процесса формализации, следовательно, воспроизводимость продукта мыслительной деятельности на ЭВМ, но они забывают тот фундаментальный факт, что процессу формализации какого-либо вида деятельности человека предшествует творческая деятельность человека по созданию самих средств формализации.

В заключение данной работы необходимо хотя бы в общих чертах указать сферы и границы применимости «машинного мышления». С точки зрения возможностей формализации задачи, возникающие в практической деятельности человека, могут быть приближенно разделены на три класса.

К первому классу необходимо отнести задачи, для которых уже существует эффективный алгоритм решения и для его реализации требуются допустимые затраты вычислительных усилий.

Второй класс образуют всевозможного рода комбинаторные задачи, которые в приемлемое время могут быть решены или простым перебором вариантов, или с использованием всевозможного рода эвристических приемов, если число вариантов поиска решения достаточно велико. Именно при решении задач данного класса «машинное мышление» дает удовлетворительные результаты.

К третьему классу можно отнести задачи, которые либо имеют экспоненциальный рост числа вариантов, либо вообще не имеют определенной зоны поиска решения (например, задачи проектирования и конструирования технических систем). Для решения этого класса задач ввиду их особой сложности используется совместное (кооперированное) решение задачи человеком и машиной. Такого рода способы решения основываются на оперативном диалоговом взаимодействии человека с ЭВМ по ходу решения задачи.

Быстрое развитие систем разделения времени и графических терминалов дало мощные технические средства для решения задач в режиме диалога человека (пользователя) с ЭВМ.

Именно тот факт, что применение ЭВМ в целях повышения эффективности умственного труда пошло не по пути полной замены интеллектуальных функций человека программами «машинного мышления», а путем передачи машине лишь только рутинных операций с возможностью оперативного вмешательства человека в процессе решения задачи, свидетельствует о наличии в интел-

лектуальной деятельности человека неформализуемых компонентов, и тем самым о принципиальном различии информационных процессов человека и ЭВМ.

Литература

Афанасьев А. Н. Народные русские сказки, т. 3. М., 1957, с. 201.
Бар-Хиллел И. Будущее машинного перевода.— «Вопросы языкознания», 1969, № 4, с. 118.
Выгодский Л. С. Избранные психологические произведения. М., 1956.
Копнин П. В. Диалектика как логика и теория познания. М., 1973.
Кураев В. И. Формализация языка науки и методология.— В кн.: Философия, методология, наука. М., 1972.
Леонтьев А. Н. Автоматизация и человек.— Психологические исследования, вып. 2. М., 1970, с. 8—9.
Налимов В. В., Мульченко З. М. К вопросу о логико-лингвистическом анализе языка науки.— В сб.: Математизация научного знания, вып. V. М., 1972.
Новик И. Б. Философские проблемы моделирования психических функций. М., 1969.
Ошанин Д. А. Оперативность отражения в информационных процессах.— В кн.: Методологические проблемы кибернетики, т. 1. М., 1970.
Спиркин А. Г. Сознание и самосознание. М., 1972.
Тихомиров О. К., Позднянская Э. Д. Исследования зрительного поиска как путь к анализу эвристик.— «Вопросы психологии», 1966, № 4.
Тюхтин В. С. О природе образа. М., 1963.
Тюхтин В. С. Кибернетическая теория опознания и теория отражения.— В кн.: Теория отражения и естествознание. София, 1973.
Тьюринг А. Может ли машина мыслить? М., 1960.
Украинцев Б. С. Самоуправляемые системы и причинность. М., 1972.
Шехтер М. С. Психологические проблемы узнавания. М., 1967.
Beth E. W., Piaget J. Epistemologie mathematique et psychologique. Paris, 1961.
Dreyfus H. Alchemy and Artifical Intelligence. (RAND Publication 1965).

РАЗВИТИЕ ЭВМ И РАСШИРЕНИЕ ВОЗМОЖНОСТЕЙ НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ

В. О. Голубинцев, В. М. Купаев

Современная научно-техническая революция характеризуется как замечательными достижениями в области «усиления» чувственной стороны научного познания (посредством всевозможных приборов), так и выходом на качественно новый уровень в рациональной ступени познания. Последнее связано с возникновением и быстрым развитием кибернетики, технические и логико-математические средства которой позволяют повысить производительность, расширить возможности научно-исследовательской деятельности, открыть такие перспективы для научного познания, которые были недоступны не вооруженному кибернетической техникой человеческому интеллекту.

Сущность и информационные возможности ЭВМ

Теоретическая обработка эмпирических данных в процессе научного познания опирается во второй половине XX в. во все возрастающей степени на информационно-технические средства кибернетики — электронные вычислительные (кибернетические) машины. При этом значение электронных вычислительных машин для сферы научного познания не исчерпывается их способностью к скоростной переработке числовой информации. «Значение вычислительных машин,— отмечает известный специалист в области кибернетики Р. Ледли,— состоит прежде всего в том, что они позволяют решать проблемы, которые без их помощи вообще не могут быть разрешены. Они позволяют проводить такую проверку теорий, ставить такие эксперименты и собирать такие данные, которые другим способом получить было бы просто невозможно. Вычислительные машины значительно расширяют диапазон возможностей исследователей...» [1968, с. 275].

Электронно-вычислительная (кибернетическая) машина является машиной принципиально нового типа — преобразователем *информации*[1]. Она представляет собой неразрывное единство двух сторон: структурно-физической (аппаратной) и программно-алгоритмической (информационной). ЭВМ только как структурно-физическая (аппаратная) конструкция не способна функционировать. Она обретает свою сущность, т. е. становится преобразователем информации лишь тогда, когда в ее физическую структуру вводится («встраивается») некоторая информационная структура — программа. *Именно* введенная в машину программа (или комплекс программ) *определяет характер* всех тех сложных *информационных процессов,* которые в ней протекают. Поэтому возможности ЭВМ определяются не только (и не столько) достигнутым уровнем в построении ее аппаратной части (тем или иным типом физических переключающих элементов, теми или иными видами запоминающих устройств и т. п.), но и достигнутым уровнем ее, так сказать, «интеллекта». Последний же определяется уровнем развития ее информационного или, как принято говорить, программного обеспечения.

С целью существенного повышения информационных возможностей ЭВМ специалистами по кибернетике во второй половине 50-х годов были начаты работы по «вооружению» машины специфическими программными средствами. Последние позволили кибернетической машине вторгнуться в область решения таких задач, которые до тех пор являлись исключительной прерогативой человеческого мышления. Так, ЭВМ, снабженная соответствующими программами, обрела способность вести поиск решений оп-

[1] Этим ЭВМ отличается от всех других типов автоматически действующих машин, создававшихся на протяжении всей истории техники и являющихся преобразователями *энергии.* Поэтому старое понятие «машина» в настоящее время пересматривается, дополняется новым содержанием.

ределенных классов задач, отбрасывая ненужные направления поиска в огромном пространстве возможных альтернатив, «обучаться», повышая эффективность поиска решений в соответствии с накапливаемым «опытом», решать проблемы, связанные с распознаванием образов и т. д. Подобные работы в области усовершенствования информационных «способностей» кибернетических машин получили за рубежом общее название исследований по проблеме «искусственного интеллекта». Заметим, что в отечественной литературе получило некоторое распространение другое понятие — «машинный интеллект». «Слово «интеллект»,— пишет З. Л. Рабинович,— в применении к машине удобно тем, что оно объединяет целый ряд ее полезных свойств, которые приобретают особо важное значение в связи с необходимостью повышения квалификации машин в деле решения логически сложных задач по переработке символьной и числовой информации, среди которых доминирующее положение занимают задачи, имеющие эвристический характер» [1970, с. 16].

Работы, направленные на автоматизацию процессов решения ряда проблем, поддающихся формализации, способствовали расширению возможностей научного познания. Так, результаты, полученные в области обучения ЭВМ распознаванию образов (одно из направлений работ по проблеме «искусственного интеллекта»), были использованы для реализации машинного анализа биологических структур (например, машинный анализ хромосом, позволяющий проводить автоматическое кариотипирование, и т. п.) [2].

Вместе с тем развитие электронно-вычислительной техники, неразрывно связанное с *совершенствованием* системы ее программного обеспечения, а также *качественное изменение форм связи человека* с кибернетической машиной, открыли принципиально новые возможности в сфере научного поиска. Дело в том, что исследования во многих областях науки связаны с решением задач, которые не могут быть в достаточной степени формализованы, а следовательно, не могут быть полностью переданы кибернетической машине и требуют участия человека в процессе их решения. В Институте кибернетики АН УССР была предложена следующая классификация задач, исходящая из требуемой формы «разделения труда» между человеком и кибернетической машиной при их решении. Первый тип задач (тип «А») характеризуется столь высокой степенью формализации и отработанности алгоритмов, что дает возможность обеспечить полную автоматизацию процесса решения задачи, т. е. возможность полной передачи ее решения электронно-вычислительной машине. Ко второму типу задач (тип «В») относятся задачи, характеризующиеся недостаточным развитием формального аппарата для построения алгоритмов. Подобные задачи вызывают необходимость оперативного и непосредственного кон-

[2] Целый ряд вопросов, связанных с применением ЭВМ в исследованиях биологических структур, нашел отражение в книге под редакцией Г. М. Франка [1970].

такта ученого с машиной в самом процессе их решения [см.: Глушков В. М., Погребысский С. Б., Рабинович З. Л., Стогний А. А., 1967, с. 15—16].

Обеспечение указанного взаимодействия («диалога») между ученым и ЭВМ стало возможным на основе реализации многопрограммной (мультипрограммной) работы ЭВМ в так называемом режиме «разделения времени», создания специальных устройств связи человека с кибернетической машиной, а также достаточно высокого уровня программного обеспечения последней. Достижение такой качественно новой ступени в развитии электронно-вычислительной техники требует более широкой трактовки понятия *«искусственного интеллекта»*. Как отмечает видный специалист в области кибернетики М. Минский, в настоящее время, наряду с разработкой автономных программ, позволяющих полностью автоматизировать решение тех или иных задач с помощью ЭВМ, все большее значение приобретают работы по созданию мультипрограммных вычислительных систем (с их сложным комплексом программного обеспечения и специальными средствами связи человека с машиной). «Такие системы позволяют сочетать деятельность человека... с возможностями крупных вычислительных машин. Это означает, что мы сможем начать программировать системы, которые действительно будут «помогать нам мыслить». В будущем мы ожидаем, что эти системы «человек — машина» будут... играть ведущую роль в наших усилиях по созданию «искусственного разума» [Минский М., 1967, с. 457—458].

Кибернетические машины, эти «созданные человеческой рукой органы человеческого мозга» (К. Маркс), выступают отнюдь не в качестве замены, а лишь в качестве особого рода дополнения, усиления человеческого интеллекта. *С этой точки зрения, сам термин* «искусственный интеллект» есть просто метафора, дань той «шумной, романтической рекламе», сопровождавшей первые шаги кибернетики, о которой пишут.

Три поколения ЭВМ и их значение

Началу работ по проблеме «искусственного интеллекта» (вторая половина 50-х годов) предшествовал более чем десятилетний период становления и развития ЭВМ. Причем примерно 5—6-летний интервал времени (начиная с середины 40-х годов) следует рассматривать как своеобразную «предысторию» электронно-вычислительной техники. В этот период была создана первая кибернетическая машина, построенная на электромеханических переключающих элементах (1944 г.), а затем и первая машина, в которой в качестве элементной базы были использованы электронные лампы (1946 г.). Но только в 1949—50 гг. были созданы ЭВМ современного типа, в которых нашла свою реализацию идея Дж. Неймана о хранимой внутри машины программе, т. е. об одинаковом по форме представления обрабатываемой и программной

информации и хранении ее в общей памяти кибернетической машины.

Ретроспективный взгляд на последующую историю электронных вычислительных машин (начиная, приблизительно, с 1950 г.) дает основание выделить три довольно четко очерченных периода в их развитии, а анализ дальнейших тенденций этого развития позволяет наметить, по крайней мере, в общих чертах, и основные особенности следующего, четвертого периода. В соответствии с такой периодизацией принято различать четыре «поколения» ЭВМ (период четвертого «поколения» начнется, ориентировочно, с середины 70-х годов). Считается, что основные технические характеристики ЭВМ (быстродействие, объем запоминаемой информации) возрастают с наступлением каждого нового их «поколения» примерно на порядок. Однако довольно распространенная точка зрения, согласно которой основной (и чуть ли не единственной) чертой, определяющей сущность каждого из «поколений» ЭВМ, является применяемый для построения их аппаратной части тип физических переключающих элементов, страдает односторонностью. Указанная черта сама по себе совершенно недостаточна для выявления специфики того или иного «поколения» кибернетических машин. Поэтому представляется необходимым рассматривать «поколения» ЭВМ в нескольких аспектах, а именно, с точки зрения: 1) их элементной базы (типа физических переключающих элементов), на основе которой строится физическая структура кибернетической машины; 2) архитектуры, т. е. конструктивных особенностей ЭВМ (начиная от характера представления информации в машине и кончая «ассортиментом» различных устройств ЭВМ с соответствующими связями между ними); 3) уровня развития программного обеспечения (т. е. информационной части) ЭВМ; 4) системы связи человека с машиной [см.: Синельников Е. М., Голубинцев В. О., Купаев В. М., 1972]. Только при таком многостороннем рассмотрении возможно выявить те качественные особенности, которые присущи каждому периоду развития электронно-вычислительной техники, а также и те новые возможности, которые открывает каждое «поколение» ЭВМ в решении научно-исследовательских задач, в повышении эффективности научного познания.

ЭВМ *первого «поколения»*, в которых использовались электронные лампы в качестве элементов их физической структуры, обладали невысокой надежностью, сравнительно низкой скоростью переработки информации и малым объемом памяти. К тому же в первой половине 50-х годов в архитектуре ЭВМ отсутствовал достаточно приемлемый тип оперативного запоминающего устройства, а использовавшиеся тогда типы оперативной памяти (на электроакустических линиях задержки, на магнитных барабанах и т. д.) не позволяли достигнуть необходимых технических характеристик. Программное обеспечение ЭВМ первого «поколения» было весьма скудным (ограничивалось, в основном, библиотеками

стандартных подпрограмм, различными тестовыми программами) и еще не сложилось в систему, т. е. не достигло того уровня развития, который впоследствии начал характеризоваться как система программного обеспечения (СПО). Кибернетические машины первого «поколения» работали только в однопрограммном режиме, а *программирование задач для решения на машине осуществлялось* в этот период на внутреннем «машинном языке» (т. е. в кодах команд конкретных типов ЭВМ) и представляло собой весьма трудоемкий процесс. Для его осуществления пользователь[3] ЭВМ должен был прибегать к услугам программиста-профессионала.

Несовершенство ЭВМ первого «поколения» накладывало серьезные ограничения на их применение в сфере научного труда. В этот период преобладающее место занимало решение задач чисто вычислительного характера. Но и этот круг задач неизбежно сужался вследствие недостаточных технических возможностей первого «поколения» электронно-вычислительной техники. Малая емкость запоминающих устройств (не превышавшая у большинства отечественных ЭВМ первого поколения 2048 машинных слов — для оперативной памяти и 50—200 тысяч машинных слов — для внешней памяти), а также сравнительно невысокое быстродействие (не более нескольких тысяч операций в секунду) серьезно ограничивали, например, применение подобных ЭВМ для различных медико-статистических исследований [см.: Рарова В. Н., 1971, с. 135]. А если ЭВМ первого «поколения» и справлялись с решением тех или иных научно-исследовательских задач, то затрачивали обычно, ввиду низкой скорости переработки информации, слишком много времени на эти решения, что к тому же повышало стоимость получаемых результатов. Американский ученый Д. Гарфинкель приводит в качестве примера следующие сведения о получении в США первой машинной (информационной) модели гликолиза. Осуществленное с помощью ЭВМ первого «поколения» подобное моделирование потребовало весьма значительных затрат машинного времени, а следовательно, и средств. Применение же новейших вычислительных машин (Д. Гарфинкель, видимо, имеет в виду только что появившиеся в середине 60-х годов в США ЭВМ третьего «поколения») позволило повысить эффективность указанного моделирования в сотни раз [Гарфинкель Д., 1968, с. 333—334].

Помимо всего прочего, ограниченный характер представления информации в ЭВМ первого «поколения» (которая представлялась только в двух формах: с фиксированной и плавающей запятой) препятствовал решению многих задач, связанных с символьной переработкой информации. А программирование задач на внутреннем «машинном языке», как уже отмечалось, требовало больших затрат времени и усилий программистов-профессиона-

[3] Условимся обозначать терминами «пользователь» (или «абонент») ученого, использующего ЭВМ в процессе своей научно-исследовательской деятельности.

лов. К этому следует еще добавить, что бедность программного обеспечения и «отделенность» пользователя от машины также существенно ограничивали возможности применения первого «поколения» ЭВМ в научном познании[4].

Во второй половине 50-х годов, т. е. к началу уже упоминавшихся работ по проблеме «искусственного интеллекта», положение в области вычислительной техники начало меняться. Повысилось быстродействие и надежность ЭВМ. В связи с появлением нового типа оперативной памяти на ферритовых сердечниках существенно улучшились технические характеристики оперативных запоминающих устройств. К концу 50-х годов началось также использование полупроводниковых приборов (транзисторов) в качестве элементной базы ЭВМ, что знаменовало собой наступление нового периода в развитии электронно-вычислительной техники — появление второго «поколения» кибернетических машин. Все это послужило важной технической основой для совершенствования информационно-программной части ЭВМ, для повышения «интеллекта» этих машин, а следовательно, и для расширения возможностей их применения в научно-исследовательской деятельности человека.

Говоря о технических предпосылках развертывания работ по проблеме «искусственного интеллекта», М. Минский отмечал, что во второй половине 50-х годов «вычислительные машины достигли в своем развитии такого уровня быстродействия, информационной емкости и гибкости, что стало возможным программирование процессов необходимой сложности» [1968, с. 201]. Развитие второго «поколения» электронно-вычислительной техники привело к появлению столь мощных ЭВМ (как, например, советская ЭВМ «БЭСМ-6» или американская ЭВМ «Стретч»), которые превзошли по быстродействию ЭВМ первого «поколения» примерно во столько же раз, во сколько раз последние превосходили по скорости переработки информации человека.

Улучшение только технических возможностей ЭВМ (повышение быстродействия, объема памяти и т. п.), т. е. чисто количественные «приращения» некоторых характеристик машины, позволили уже качественно изменить круг решаемых ею проблем в сфере научного труда. Так, например, известно, что статистическая оценка электрограмм (электроэнцефалограмм, электромиограмм и т. д.), корреляционный и спектральный анализ, необходимые для проведения различных биологических исследований, требуют переработки большого объема информации и практически не могут проводиться без применения электронно-вычислительной тех-

[4] В рассматриваемый период пользователь не имел непосредственного «контакта» с машиной. Его связь с ЭВМ осуществлялась через «посредников»: программиста (составлявшего программу решения задачи пользователя в кодах «машинного языка»), кодировщика (наносившего программу и исходные данные задачи на перфокарты или перфоленту), оператора («пропускавшего» задачу через машину).

ники [см.: «Материалы I Всесоюзной конференции по электронной аппаратуре для исследований в области высшей нервной деятельности и нейрофизиологии». Москва — Иваново, 1966]. Реальная возможность использования указанных методов в научно-исследовательском процессе появилась лишь в связи со значительными успехами в области прикладной математики и вычислительной техники[5], в частности, в связи с новыми техническими характеристиками второго «поколения» ЭВМ. Расширение возможностей использования в биологических исследованиях многомерной математической статистики непосредственно связано с ростом производительности электронно-вычислительных машин. Это можно проиллюстрировать на примере работы одной из исследовательских агробиологических станций Великобритании. На этой станции только после появления ЭВМ вообще стала реализовываться назревшая необходимость в решении целого *ряда многомерных задач. С появлением же на станции другой, более* мощной ЭВМ число задач этого типа (но с гораздо большим количеством переменных) существенно возросло [см.: Jates F., 1966].

Следует заметить, что возрастание производительности ЭВМ в целом зависит не только от увеличения быстродействия электронных схем, из которых строится ее физическая структура, но и от *организации* процесса переработки информации. Происшедший в период второго «поколения» кибернетических машин переход от однопрограммного к мультипрограммному характеру работы сыграл огромную роль в повышении эффективности использования ЭВМ. Мультипрограммная организация вычислительного процесса, реализованная вначале в виде так называемого режима «пакетной обработки» задач, позволила свести к минимуму простои быстродействующего оборудования ЭВМ, которые были связаны *с несоответствием скоростей работы ее центральных и внеш*них устройств. При этом нужно подчеркнуть, что переход к мультипрограммной обработке информации не мог быть произведен чисто аппаратным путем. И, в первую очередь, он оказался связанным с тем значительным повышением уровня программного обеспечения, который характеризует весь период второго «поколения» ЭВМ. Именно в этот период сформировался тот сложный информационно-программный комплекс, который получил название системы программного обеспечения ЭВМ. Указанное развитие программного обеспечения было объективно направлено на решение следующих двух задач: во-первых, на облегчение коммуникации пользователя с машиной и, во-вторых, на совершенствование организации процесса переработки информации внутри машины.

Решение последней задачи оказалось неразрывно связанным *с созданием так называемой операционной системы — большого*

[5] См.: Радиоэлектроника в медицине (научный обзор), вып. 3. М., 1969, с. 3.

и весьма сложного комплекса программ, который, начиная с периода второго «поколения» кибернетических машин, стал важнейшей и неотъемлемой частью системы их программного обеспечения. Операционная система организует использование оборудования ЭВМ при ее мультипрограммной работе, а также обеспечивает возможность целенаправленного вмешательства человека в ход вычислительного процесса.

Что же касается первой из вышеупомянутых задач — облегчения коммуникации пользователя с машиной,— то эта задача на всем периоде второго «поколения» ЭВМ решалась на путях создания специальных формализованных языковых средств (с соответствующими средствами трансляции), позволявших свести к минимуму объем труда, затрачиваемого на программирование задач, и переложить максимально возможную часть данной работы на сами кибернетические машины. Таким образом, период второго «поколения» электронно-вычислительной техники явился одновременно и периодом интенсивной *автоматизации программирования*. Появившееся множество формализованных алгоритмических языков позволило специалистам различных областей науки «контактировать» с кибернетической машиной, не прибегая к помощи «посредника» — программиста. К числу таких языков относятся, например, АЛГОЛ, ФОРТРАН (получившие широкое применение при машинном решении разнообразных научно-технических проблем), СИМУЛА (предназначенный для моделирования сложных систем на электронно-вычислительных машинах) и др. Заметим, что в конце 60-х годов появился новый язык ПЛ—I, явившийся первой попыткой создания высокоразвитого многоцелевого языка программирования [6].

Однако достигнутый в период второго «поколения» ЭВМ прогресс в области облегчения «контакта» пользователя (ученого) с кибернетической машиной на основе автоматизации программирования не устранил все же в целом его «отделенности» от машины. Это объяснялось тем, что во втором «поколении» электронно-вычислительной техники была достигнута лишь та первая ступень в организации мультипрограммного функционирования ЭВМ, при котором программы обрабатывались партиями (в режиме уже упоминавшейся «пакетной обработки») под наблюдением человека-оператора. Последний осуществлял обмен информацией с ЭВМ через специальный пульт, снабженный устройством типа пишущей машинки. Оператор вводил в машину соответствующие приказы, а машина в процессе переработки информации выдавала ему необходимые сведения путем печатания их на бумаге. Однако, несмотря на оперативность обмена информацией, достигаемую при

[6] Мы не останавливаемся здесь более подробно на проблеме языковых средств коммуникации человека с ЭВМ. Указанная проблема более подробно освещена в работе Е. М. Синельникова, В. О. Голубинцева, В. М. Купаева [1970].

этом между оператором и кибернетической машиной, сам пользователь по-прежнему (как и в эпоху первого «поколения» ЭВМ) оказывался отделенным от последней, так как его связь с машиной осуществлялась через «посредника» — оператора. Принципиально же новая ступень в организации связи пользователя с кибернетической машиной начала реализовываться только в следующем, третьем «поколении» ЭВМ.

Появление *третьего «поколения»* электронных вычислительных машин было обязано, прежде всего, тем успехам микроэлектроники, которые были достигнуты в середине 60-х годов. Так называемая интегрализация элементов обеспечила возможности значительного роста быстродействия ЭВМ и повышения их надежности[7]. Переход на качественно новую элементную базу сопровождался также возрастанием емкости и гибкости всей иерархии запоминающих устройств, а также существенным увеличением «ассортимента» периферийного оборудования. Но одной из важнейших особенностей третьего «поколения» электронных вычислительных машин, с точки зрения возможностей и характера их использования в научно-исследовательском процессе, является формирование принципиально новой системы коммуникации пользователя с ЭВМ. Последнее обусловлено рядом обстоятельств. Во-первых, переходом на новую ступень мультипрограммной обработки информации (в так называемом режиме «разделения времени»), которая характеризуется тем, что время работы кибернетической машины оперативно распределяется между рядом пользователей (абонентов). Во-вторых, расширением и совершенствованием системы программного обеспечения ЭВМ. В-третьих, появлением новых средств дистанционной связи пользователя с кибернетической машиной, обеспечивающих визуальное отображение вводимой и выводимой информации в разнообразной (в том числе, графической) форме.

Перечисленные факторы послужили основой для построения такой системы связи «человек — ЭВМ», которая устраняет «отделенность» пользователя от машины. Указанная система, во-первых, позволила существенно сократить время, затрачиваемое ученым на решение той или иной задачи с помощью кибернетической машины (считая от момента ее постановки и до момента получения результатов) и, во-вторых, обеспечила возможность решения задач, алгоритм которых формируется в процессе непосредственного и оперативного взаимодействия («диалога») ученого с ЭВМ (задачи типа «В» по вышеприведенной классификации Института кибернетики АН УССР).

Как однопрограммные электронно-вычислительные машины первого и начала второго «поколений», так и более поздние многопрограммные машины второго «поколения», работающие в ре-

[7] Интегрализация означает получение определенного количества функционально-связанных логических элементов единым комплексом технологических процессов и в законченном конструктивном исполнении.

жиме «пакетной обработки», не обеспечивали «диалогового» контакта пользователя с машиной. Таким образом, на этом этапе развития электронно-вычислительной техники еще не сложилась единая автоматизированная система «пользователь — ЭВМ»[8]. Поэтому кибернетические машины первого и второго «поколений» практически позволяли решать только полностью формализованные задачи, имеющие заранее составленный алгоритм их выполнения (задачи типа «А»). Но с появлением третьего «поколения» ЭВМ начала складываться система оперативного и непосредственного взаимодействия между пользователем и кибернетической машиной.

Реализация режима «разделения времени» ЭВМ между многими пользователями, а также появление индивидуальных абонентских пультов, допускающих к тому же визуальное отображение информации на экране электронно-лучевой трубки (с использованием клавиатуры пульта, так называемого «светового пера» и т. п.), способствовали созданию автоматизированной системы «пользователь — ЭВМ». Появление последней обеспечило переход к качественно новому «уровню» использования ЭВМ в сфере научного труда. На этом «уровне» кибернетическая машина выступает как активный «партнер» ученого в научно-исследовательском процессе, что позволяет решать такие задачи, которые ни человек, ни машина в отдельности решить бы не могли. К числу последних относятся различные многовариантные поисковые задачи, игровые задачи и т. п., объединяемые в обширный класс задач типа «В». Эффективность (и возможность) решения задач данного класса в системе «ученый — ЭВМ» определяется теми неформальными соображениями, которые человек использует в процессе их решения, «подсказывая» машине направления поиска, кажущиеся ему перспективными. Примером подобной задачи может служить поиск конфигурации чрезвычайно сложных молекул белка. Ее успешное решение оказалось возможным лишь на основе «диалогового» взаимодействия ученого с кибернетической машиной, снабженной средствами визуального (графического) отображения информации [см.: Левинталь С., 1969]. Получение существенно новых научных результатов в автоматизированной человекомашинной системе демонстрирует важность и эффективность своеобразного («симбиотического», по выражению Дж. Ликлайдера) объединения человеческого естественного интеллекта (с его неформальным мышлением, интуицией и т. д.) и «интеллекта» машинного, искусственного (с его возможностью быстрого выполнения различных аналитических процедур, способностью «просмотра» и сравнения огромного количества различных данных и т. п.).

[8] Понятие «автоматизированная система», в рамках которой осуществляется совместная работа человека и машины, следует отличать от понятия «автоматическая система», которая работает без непосредственного участия человека.

Указанное объединение человека и ЭВМ является также довольно эффективным средством развития творческих навыков в процессе обучения будущих исследователей. Оно позволяет совместить обучение с исследованием изучаемой проблемы, обеспечивая при этом проведение того или иного эксперимента (реализуемого в виде информационного моделирования экспериментальной ситуации с помощью кибернетической машины) в ускоренном масштабе времени. В качестве примера можно привести новую «кибернетизированную» методику изучения студентами биологических специальностей университетов основ генетики [см.: Битцер Д., Джонсон Р., 1972, с. 150—151].

О развитии электронно-вычислительной техники

Грядущий *четвертый период* в развитии электронно-вычислительной техники, который уже сейчас подготавливается в лабораториях и конструкторских бюро, будет знаменовать новый важный шаг в развитии конструктивно-технологических и системотехнических концепций построения кибернетических машин. Указанный период принесет как существенное улучшение технических характеристик ЭВМ, так и дальнейшее усовершенствование системы связи человека с кибернетической машиной, а следовательно, и новые возможности в научном познании. ЭВМ четвертого «поколения» будут строиться на основе больших интегральных схем (содержащих сотни и даже тысячи логических элементов в одной пластине кристалла), обладать чрезвычайно емкими и быстродействующими запоминающими устройствами (ЗУ), в том числе совершенно новых типов (как, например, магнитооптическими ЗУ с лазерной выборкой, так называемыми «пузырьковыми» ЗУ на магнитных цилиндрических доменах и т. д.), снабжаться разнообразным и весьма совершенным периферийным оборудованием. Дальнейшее развитие системы программного обеспечения, часть функций которого будут выполнять специальные программно-аппаратные средства, обеспечит еще большее повышение эффективности использования ЭВМ в научно-исследовательской сфере. При этом предполагается более широкое применение ассоциативной организации памяти, различных программ с «обучением» и других способов, дающих исследователю максимум возможностей и удобств при использовании кибернетической машины в процессе его научной деятельности. Таким образом, основная задача нового, четвертого «поколения» ЭВМ — это организация информационных систем максимально удобных для пользования с точки зрения их доступности (в смысле ведения непосредственного «диалога» человека с машиной), надежности и предоставляемых возможностей в области переработки информации [см.: Laining R. M., Kistruck J. R. S., 1971].

Вместе с тем потребности современной науки в накоплении и переработке все возрастающих объемов научной информации

выдвинули в качестве одной из важнейших задач 70-х годов создание такой информационной системы, которая позволила бы оперативно использовать в сфере научного труда совокупную мощность кибернетических машин четвертого «поколения». Это может быть достигнуто путем объединения в *единую сеть* многих ЭВМ. Конкретные шаги в указанном направлении предприняты уже в первой половине 70-х годов, т. е. на этапе постепенного перехода от третьего к четвертому «поколению» электронно-вычислительной техники. Существуют проекты объединения многих ЭВМ, принадлежащих различным научно-исследовательским организациям, в единую информационную сеть [см., например, Brinton J., 1971].

Подобные сети кибернетических машин позволяют существенно увеличить эффективность использования ЭВМ в научных исследованиях. Дело в том, что количественное увеличение «информационной мощности», достигаемое в сети из многих ЭВМ, несет с собой и целый ряд качественно новых обстоятельств.

Во-первых, появляется возможность существенного увеличения объема накопляемой информации с созданием таких объединяемых сетью «информационных банков», которые устраняют необходимость многократного дублирования одной и той же информации при ее использовании вычислительными центрами различных научно-исследовательских организаций.

Во-вторых, достигаемое в многомашинной информационной сети коллективное использование общего программного обеспечения способствует своеобразному «естественному отбору» лучших операционных систем.

В-третьих, открываются перспективы решения сложных научных проблем путем их разбиения на ряд отдельных, относительно независимых частей («подпроблем»), работа над которыми может быть поручена целой группе исследователей. Каждый из последних, имея независимый доступ к многомашинному комплексу вычислительных средств, выполняет свой «участок» работы. В результате решение всей проблемы может вестись одновременно по нескольким направлениям. Такое «распараллеливание» сложной научной проблемы, достигаемое в многомашинной вычислительной системе, позволяет существенно повысить эффективность ее решения [9].

Следует отметить, что задача объединения многих ЭВМ и организация снабжения информацией пространственно удаленных пользователей приводят к необходимости «сращивания» вычислительных систем с государственными системами связи. Эта проблема уже стоит в СССР на повестке дня, и она будет решаться в условиях плановой социалистической экономики в масштабах всей страны. Как отмечается в «Директивах XXIV съезда КПСС

[9] Другим методом, позволяющим реализовать (в той или иной степени) указанное «распараллеливание», является создание многопроцессорных вычислительных систем [см.: Bouknight W., Denenberg S., 1972].

по пятилетнему плану развития народного хозяйства СССР на 1971—75 годы», необходимо «создать общегосударственную автоматизированную систему сбора и обработки информации... на базе государственной системы вычислительных центров и единой *автоматизированной сети связи страны*» [*Материалы XXIV съезда КПСС*. М., 1972, с. 298].

Таким образом, в недалеком будущем существующая система «контактирования» между отдельными учеными и ЭВМ третьего «поколения» обещает перерасти в широкое взаимодействие целых коллективов исследователей с совокупностью электронно-вычислительных машин, объединенных в единую информационную сеть. Эффективность решения научно-исследовательских проблем в такой системе увеличивается не только за счет суммирования индивидуального вклада отдельных «подсистем», но и за счет ускоренного обмена информацией между отдельными коллективами исследователей (работающих в территориально удаленных научно-исследовательских центрах) через посредство сети взаимосвязанных кибернетических машин. В результате будет достигнуто своеобразное «сращивание» мощи коллективного человеческого интеллекта и новейшей кибернетической техники, что даст огромное повышение результативности научно-исследовательского труда.

Литература

Битцер Д., Джонсон Р. Система PATO — техническое средство обучения, использующее ЭВМ.— В кн.: Кибернетика и педагогика. М., 1972.

Гарфинкель Д. Метод моделирования на вычислительных машинах в биохимии и экологии.— В кн.: Теоретическая и математич. биология. М., 1968.

Глушков В. М., Погребысский С. Б., Рабинович З. Л., Стогний А. А. Вопросы развития структур ЦВМ в связи с системами их математического обеспечения.— «Кибернетика», 1967, № 5.

Левинталь С. Построение молекулярных моделей с помощью вычислительной машины.— В кн.: Молекулы и клетки. М., 1968.

Ледли Р. Применение вычислительных машин.— В кн.: Теоретическая и математическая биология. М., 1968.

Минский М. На пути к созданию искусственного разума.— В кн.: Вычислительные машины и мышление. М., 1967.

Минский М. Искусственный разум.— В сб.: Информация. М., 1968.

Минский М. и *Пайперт С.* Персептроны. М., 1971.

Рабинович З. Л. Некоторые вопросы автоматизации творческих процессов — В кн.: Методологические проблемы кибернетики, т. 2. М., 1970.

Рарова В. Н. Применение электронно-вычислительных машин в медицинских статистических исследованиях. М., 1971.

Синельников Е. М., Голубинцев В. О., Купаев В. М. Некоторые черты развития универсальных цифровых вычислительных машин в СССР.— «Известия высших учебных заведений. Электромеханика», 1972, № 12.

Франк Г. М. (редактор). Современные проблемы машинного анализа биологических структур. М., 1970.

Brinton J. ARPA registers a big net gain.— «Electronics», 1971, vol. 44, N 26.

Bouknight W., Denenberg S. The Illiak IV Sistem.— «Proceedings of the JEEE», vol. 60, N 4.

Laing R. M., Kistruck I. R. S. The fourth generation from the users viewpoint.— The Forth Generation. Internat. Comp. St. of the Art Report, Maidenhead, 1971.

Jates F. Computers: the second revolution in Statistics.— «Biometrics», 1966, vol. 22, N 2.

КИБЕРНЕТИКА И ИСКУССТВО

А. С. Митрофанов

Кибернетическое моделирование некоторых свойств и функций мышления и психики человека помогает бороться с идеалистическими мифами о сверхъестественной природе человеческого интеллекта. За последние два десятилетия расширились не только вычислительные и логические возможности кибернетических машин; с помощью ЭВМ решаются все более сложные задачи, в которых содержатся элементы, считавшиеся ранее прерогативой человеческого мышления. Обращают на себя внимание и первые шаги на пути моделирования музыкального и поэтического творчества.

Однако в разработке проблем «искусственного интеллекта» важны правильные методологические ориентиры, позволяющие определить эффективные пути дальнейших исследований и объективно оценить проводимые эксперименты. Как показывает практика, выбор неверных методологических подходов к природе научного и художественного творчества, к проблеме существования художественного произведения, к соотношению содержания и формы в искусстве, к критериям оценки качества программирования художественной деятельности и ее продуктов — пагубно сказывается на «тактических» программах исследования. Опасны обе крайности — идеалистические интерпретации и спекуляции на успехах кибернетического моделирования, широко распространенные на Западе, и вульгарно-упрощенческие ультраоптимистические и модернистские тенденции.

Опасность упрощения

За недолгое время существования кибернетики мы пережили три волны оптимистических прогнозов о скором создании «разумных» или «мыслящих» машин. Первые надежды возникли еще четверть века назад, когда казалось, что методами жесткого алгоритмического программирования можно решить любые классы задач. Но вскоре всем стало ясно, что кибернетика не сможет преодолеть ряд ограничений даже в сфере чистой математики, так как в ней есть алгоритмически неразрешимые проблемы. На строгом логико-математическом языке неясно даже, как поставить большинство задач, решаемых в других науках, а также в технике, экономике, управлении производством, войсками, не говоря уже об искусстве. Что же касается машинного сочинения стихов, о котором широко писали в тот период, то единственный удачный опыт оказался фальсификацией: стихи «Ночь кажется чернее кошки...» и в подстрочнике с английского, и в русском вариантах принадлежали человеку, а не машине [см.: Пекелис В., с. 208—211].

Вторая волна надежд была связана с методом эвристического программирования, который, казалось, позволял избежать многих трудностей, непреодолимых при строгом алгоритмическом описании. Первые успехи в моделировании творческих процессов — *игры в шашки и шахматы — были очень заманчивы.* Не менее многообещающей была и теория машинного перевода с языка на язык. Не только газеты, но и солидные научные журналы печатали статьи о создании «думающих машин», которые решают сложные задачи, играют в шахматы, сочиняют стихи и музыку. Однако оказалось, что возможности эвристического программирования были преувеличены: электронный гроссмейстер так и не появился, переводчик-полиглот тоже. Тактика и стратегия шахматной игры, синтаксис и семантика естественных языков оказались *чрезвычайно сложными и для методов эвристического программирования.*

Как бы подводя итог этому периоду, И. А. Полетаев в статье «„Трудный период" кибернетики и американские роботы» писал: «...проблема «искусственного интеллекта» и даже «искусственной личности» находится в зачаточном состоянии разработки, а те результаты, которые могут быть продемонстрированы сегодня, производят, подчас, удручающее впечатление примитивности и беспомощности... Машина мыслить еще не научилась... Более того, *она не научилась и читать* (*кроме специально подобранного шрифта*), не научилась уверенно различать предметы... кроме самых примитивных знаков и предметов в специально подобранной лабораторной ситуации. По-видимому, в разговорах о «мыслящей машине» что-то не так» [1971, с. 6, 11].

Третья волна надежд, значительно слабее двух предыдущих, возникла несколько лет назад в связи с концепцией эволюционного моделирования. Идея постепенного усложнения и улучшения функционирования кибернетических систем путем их эволюции (*по аналогии с естественными системами*) *в методологическом отношении* кажется вполне приемлемой. Однако «проигрывание на ЭВМ» эволюции требует такого уровня исходной организации системы, который бы обеспечил самосовершенствование системы при ее взаимодействии с усложняющейся средой. Поэтому первое требование к начальному состоянию эволюционирующей системы — наличие у нее уровня самоорганизации [см. об этом статью В. С. Тюхтина в данной книге]. Уже одноклеточные организмы обладают самоорганизацией. Искусственное воспроизведение *простейшей самоорганизующейся системы, способной совершенствоваться* и эволюционировать — дело чрезвычайно сложное. Стремление строить эволюционное моделирование на основе системы более низкой организации можно считать чрезмерным упрощением задачи.

— Второе требование к эволюционному моделированию состоит в том, чтобы учесть основные законы и факторы эволюции и соответствующим образом организовать усложнение условий, с

которыми кибернетическая система будет взаимодействовать. Только после этого можно будет «проиграть» модель эволюции таких систем на ЭВМ в короткое время.

Среди эволюционных концепций, упрощенно трактующих моделирование психики и творческого мышления, можно назвать концепцию, развитую в книге Л. Фогеля, А. Оуэнса и М. Уолша [1969]. Устройство, которое должно, по мнению авторов, в процессе обучения и самообучения улучшать предсказание символов среды, не имеет уровня самоорганизации, и, кроме того, эксперименты с этой моделью не отвечают отмеченному выше второму требованию. Недаром в предисловии редактор перевода член-корреспондент АН УССР А. Г. Ивахненко пишет: «Простота рассматриваемых в книге задач предсказания далеко не соответствует сложности и объему реальных задач, причем потеря сложности может привести к качественным изменениям результатов эволюционного программирования» [1969, с. 9].

В нашей литературе имеются случаи некритического принятия и даже преувеличения указанной концепции эволюционного моделирования. Так, например, И. Б. Гутчин пишет: «Эволюционное программирование открывает перед нами потенциальные возможности вложить в машину решение интеллектуальных творческих задач, непосильных для человека. Это утверждение не противоречит житейской практике: хорошо известно, что ученик часто превосходит своего учителя, спортсмен, устанавливающий мировой рекорд, воспитывается тренером, к таким достижениям не способным и т. д.» [1973, с. 376]. Но, во-первых, аналогия не есть доказательство, тем более, если эта аналогия — «житейская»: ведь из того, что человек способен, обучаясь, превзойти своего учителя, отнюдь не следует, что и ЭВМ «в решении интеллектуальных творческих задач» способна превзойти программиста-теоретика. Во-вторых, Л. Фогель с соавторами не создали алгоритма решения «интеллектуальных творческих задач». Более того, даже для простых задач типа автокорреляции, авторы не дают достаточно четкого описания структуры алгоритма [см.: Ивахненко А. Г., 1969, с. 8]. Не опровергая этих выводов крупного специалиста-кибернетика, И. Б. Гутчин, тем не менее, пишет прямо противоположное: «В работе Л. Фогеля и его соавторов указывается на принципиальную возможность построения систем, способных к проявлению черт самосознания, тенденции к самосохранению и, следовательно, к постановке своих собственных целей. Основой этих способностей должны явиться внутренне построенные идеальные модели «самого себя» и внешнего окружения... Реализация таких способностей самоорганизации на электронных машинах неизбежно приведет к созданию подлинного искусственного интеллекта. Разработка методов эволюционного моделирования представляет собой лишь первый шаг на этом пути... Что касается эффективности его использования в решении конкретных задач

моделирования произведений искусства, то здесь следует ожидать результатов новых исследований» [1973, с. 376].

Любое из направлений в информационном моделировании мышления (алгоритмическое, эвристическое, эволюционное, бионическое и др.) основано на использовании ЭВМ как технической системы, созданной из дискретных логических элементов и работающей в дискретном коде на основе электрических сигналов (хотя сигналы могут быть любой физической природы, а ЭВМ бывают и аналогового принципа действия). Но не только этот субстрат ЭВМ не позволяет нам «наделить» компьютер сознанием и самосознанием. В советской философской литературе не раз давалась оценка возможностей кибернетического моделирования *любых форм интеллектуальной деятельности* и была убедительно раскрыта идея классиков марксизма-ленинизма о социальной обусловленности *сознания и самосознания* [см.: Новик И. Б., 1963; Тюхтин В. С., 1963, 1972; Шалютин С. М., 1964; Кедров Б. М., 1967; Кочергин А. Н., 1969; Митрофанов А. С., 1971(а), 1971(б), 1973; Украинцев Б. С., 1972; Спиркин А. Г., 1972 и др.].

У нас нет никаких оснований отказываться от марксистского понимания сущности человека и его сознания, его способности к творчеству, в том числе и в области конструирования техники. Ведь машины — «...это продукты человеческого труда, природный материал, превращенный в органы человеческой воли, властвующей над природой... Все это — *созданные человеческой рукой органы человеческого мозга,* овеществленная сила знания. Развитие основного капитала является показателем того, до какой степени всеобщее общественное знание... превратилось в *непосредственную производительную силу...*», — писал К. Маркс (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 46, ч. II, с. 215).

Развивая *эти марксистские положения*, И. Б. Новик *писал:* «Машина, какой бы сложной и «умной» она ни была, — это не более чем посредствующее звено, связывающее человека с природой... машина светит отраженным светом человеческого разума» [1963, с. 136]. Включенность ЭВМ в структуру человеческой деятельности хорошо показывает А. Н. Кочергин: «В машине творческая деятельность человека опредмечена, в том числе и законы логического мышления, согласно которым машина осуществляет свои операции... Машина... имеет дело не с идеальными образами, а с материальными импульсами... Мыслительные процессы при моделировании их на электронных вычислительных машинах объективируются, утрачивают свою субъективно-сознательную форму» [1969, с. 99—100]. Аналогичные мысли развивает в своем труде, *посвященном сознанию и самосознанию*, член-корреспондент АН СССР А. Г. Спиркин: «...принципиальная разница между человеческим *восприятием и опознающей функцией машины состоит* в том, что в первом случае результатом является *субъективный образ объекта,* а во втором — *код признаков объекта*... Мышление — это целенаправленная сознательная деятельность... машины

весьма успешно моделируют сравнительно узко специализированные виды работы мозга, например, присущий человеку механизм формальнологического мышления. Но этот механизм далеко не исчерпывает всей полноты сознания... Механизм творческой мысли еще крайне мало исследован, но очевидно, что он как-то связан с чувственной и интеллектуальной интуицией, с ее способностью к содержательным аналогиям и гипотезам» [1972, с. 55—56].

Даже имея перед собой несравненно более высокоорганизованные системы, чем ЭВМ, например, обезьян или людей, выросших вне человеческого общества, мы не можем «наделить» их сознанием [см.: Кузнецов О. Н., Лебедев В. И., 1972, с. 7—10].

К сожалению, теоретики «машинного сознания и самосознания» избегают анализа аргументов своих философских оппонентов, предпочитая ссылаться на авторитеты: «Однако уже сейчас, — пишет И. Б. Гутчин, — в последней книге А. Моля «Искусство и вычислительные машины» высказывается предположение, что на основе обучающихся эволюционных программ в обозримом будущем будет создана подлинно творческая машина. При этом, по мнению А. Моля, «среди различных вариантов творческой машины системы с эстетической ориентацией могут оказаться быстрее и проще осуществимыми...». Это естественно, ибо из сравнения художественного и научного творчества следует, что у последнего... «более строгие критические требования усложняют материальную реализацию». Иначе говоря, — поясняет И. Б. Гутчин, — «машина-художник» сможет дать эстетическое наслаждение потребителю (читателю, зрителю, слушателю), не обладая той законченностью и совершенством, отсутствие которых у «машины-ученого» полностью обесценивают плоды ее труда. Поэтому, как это ни парадоксально звучит, «машина-художник» может появиться гораздо раньше «машины-ученого» [1973, с. 376—377].

Ниже будет показано, почему А. Моль считает «машину-художника» быстрее осуществимой, чем «машину-ученого». Здесь важно обратить внимание на ту органическую связь, которая существует между общими декларациями о возможности создания «машинного сознания» и «машинного художественного творчества». В настоящее время именно область, пограничная между кибернетикой и искусством, дает основные «аргументы» в пользу осуществимости идеи создания «искусственного разума», аналогичного и даже превосходящего человеческий.

Утверждения о том, что для «машины-художника» не требуется законченности и совершенства, чтобы создать произведение искусства, способное вызвать эстетическое наслаждение у публики,— это типичный образец упрощенческого подхода к кибернетическому исследованию искусства. Академик А. Н. Колмогоров, сам неоднократно встречавшийся с неразрешимыми трудностями при исследовании поэтического текста, так писал о вреде упрощенчества: «...часто встречаются восторженные статьи, сами заглавия которых уже кричат об успехах в моделировании различных

сложных видов человеческой деятельности, которые в действительности моделируются совсем плохо. Например, в американской *кибернетической литературе и у нас, порой даже в совсем серьезных* научных журналах, можно встретить работы о так называемом машинном сочинении музыки. (Это не относится к работам Р. Х. Зарипова)... На сегодня мы еще очень далеки от осуществления анализа и описания высших форм человеческой деятельности, *мы даже еще не научились в объективных терминах* давать определения многих встречающихся здесь категорий и понятий, а не только моделировать такие сложные виды этой деятельности, к каким относится создание музыки... приступая сразу к машинному сочинению музыки, мы окажемся в состоянии моделировать чисто внешние формы. «Машинное сочинение музыки» — это пример упрощенного подхода к проблемам кибернетики» [1963, с. 23—24].

Эти слова были сказаны почти пятнадцать лет назад, но сегодня они актуальны еще более, чем прежде. Именно неясность философских и методологических принципов, положенных в основания теории моделирования искусства, зачастую уводит *программистов от осуществления поставленных заманчивых целей.* Подобная ситуация неизбежна для исследователя, который взялся за решение конкретных вопросов, не уяснив себе общих вопросов, на что обращал внимание еще В. И. Ленин.

Кибернетика и формализм в искусстве

Как известно, А. Моль не скрывает своих симпатий к современному формалистическому искусству, абстрактной живописи, додекафонной и «конкретной» музыке [см.: Моль А., 1967]. Совсем недавно издательство «Мир» выпустило перевод книги А. Моля «Искусство и ЭВМ» [1975], в которой французский ученый предлагает целую энциклопедию современных авангардистских направлений в искусстве и стремится доказать, что ЭВМ может принадлежать решающая роль в автоматическом синтезе «художественных структур»: *«Таким образом,* электронной вычислительной машине предстоит ключевая роль в развитии новой индустрии художественных произведений. На первых порах она служит лишь для создания всевозможных комбинаций элементов при экспериментальной проверке алгоритмов и других процедур, по своему характеру близких к тому, с чем обычно имеют дело программисты (таково, например, сочинение машинной музыки). В дальнейшем же машина будет использоваться *непосредственно для создания* произведений... от простой реализации некоторой машинной программы весьма естественно перейти к мысли о возможности варьировать эту программу, т. е. к понятию о пермутационной множественности произведения искусства. Важнейшей характеристикой *в этой связи становятся масштабы варьирования,* от которых во многом зависят будущие пути развития искусства.

ЭВМ представляется весьма удобным орудием, способным поднять на новую ступень возможности реализации множественных произведений... Мощный усилитель человеческого интеллекта — электронная вычислительная машина — позволит в полной мере использовать методику «пермутационного искусства», которое, словно водяной знак, просвечивает сквозь ткань нашей технической цивилизации» [Моль А., 1975, с. 132—135].

Мы не можем подробно анализировать идеи А. Моля: его книга вышла, когда коллективный труд «Кибернетика и современное научное познание» находился уже в печати. Но даже из процитированных мест видно, что А. Моль ориентирует кибернетику и свою так называемую «информационную эстетику» на индустриальное производство именно «пермутационного искусства», которое является не чем иным, как обычным формализмом, только названным новым термином. Основной тезис модернистской теории и практики, в какие бы «измы» они ни наряжались, гласит, что предметом искусства является «эстетический объект», сконструированный из элементов любой природы, а не отражение действительности с позиций определенного общественно-политического и нравственно-эстетического идеала. При этом качественная специфика материала искусства и художественного языка (например, живописи и музыки) не учитывается. Звук отождествляется с цветом. Эта основная гносеологическая и эстетическая ошибка В. Кандинского довлеет как кошмар над умами современных абстракционистов [см.: Кандинский В., 1967; Митрофанов А. С., 1971(б)].

Подход к музыкальному произведению как к чисто конструктивному акустическому объекту, правила создания которого могут быть произвольно установлены композитором, одним из первых осуществил А. Шёнберг. Он разработал додекафонный метод, а А. Веберн детализировал правила «серийной» техники для комбинации 12 тонов хроматической гаммы. Додекафонисты совершенно не учитывают исторически сложившиеся ладо-тональные и формообразующие связи. Художественная несостоятельность додекафонной музыки является прямым следствием антимузыкального метода порождения «серий» звуков, когда композитор с помощью логарифмической линейки высчитывает, какую ноту и какой длительности надо записать в нотную строку. Совсем не случайно, что из всех попыток использования ЭВМ в функции «композитора» удались именно опыты по синтезированию додекафонных композиций, так как правила «серийной» техники имеют логико-математическую природу и легко поддаются кодированию в алгоритмах для ЭВМ [Митрофанов А. С., 1971(б)]. Именно эти «успехи» машинного «сочинения музыки» имеют в виду зарубежные теоретики «машинного искусства», когда говорят, что «машину-художника» легче создать, чем «машину-ученого». Ведь «синтезы» ЭВМ, выраженные в знаковой или акустической форме, не имеют никакого значения (семантики) и воспринимаются подобно бессвязно-

му набору звуков. Точно так же воспринимаются и «опусы» додекафонистов, созданные с помощью логарифмической линейки, — отсюда и жалобы известного атоналиста Я. Ксенакиса на утомительные вычисления [см.: Денисов Э. В., 1972, с. 293]. Поэтому кибернетика должна выполнить и такой заказ современных формалистов: освободить их от скучных расчетов и утомительного «процесса реализации звуковых объектов»: «Композитор, освобожденный от скучных расчетов, — пишет Я. Ксенакис, — может посвятить себя общим проблемам, поставленным новой музыкальной формой... Композитор с помощью электронного мозга превращается в пилота, нажимающего на кнопки, вводящего координацию и наблюдающего циферблаты космического корабля, плывущего в пространстве звуков среди звуковых созвездий и галактик...» [см.: Денисов Э. В., 1972, с. 301].

Разумеется, композитор-формалист напрасно тревожит образ космонавта: по содержанию деятельности, по величию решаемых научно-технических задач, по степени риска для жизни и творческого напряжения труд космонавта несоизмерим с «пермутационной игрой» формалиста. Вооруженные современной электронной и вычислительной техникой, атоналисты («серийники», «сонорики», «алеаторики», «конкретники») выполняют действительно чисто диспетчерские функции. Но если обычный труд диспетчера и не является творческим, то он по крайней мере содержателен: наполнен практическим личным и социальным смыслом, чего не скажешь о «труде» формалистов. Суть их заблуждений с семиотической точки зрения хорошо определил К. Леви-Стросс: «Какова бы ни была глубина непонимания между конкретной и «серийной» музыкой, вопрос состоит в том, не является ли упор на материальный аспект в одной системе (т. е. на акустику — *А. М.*) и на формальный аспект в другой (т. е. на логико-математические правила — *А. М.*) уступкой утопии века, которая проявляется в постоянных попытках конструировать знаковые системы, располагающиеся на единственном уровне обозначения (и потому лишенные смысла — *А. М.*)» [1972, с. 43].

Против этой «утопии века» всегда боролись все прогрессивные композиторы нашего времени. Так, например, великий композитор современности Д. Шостакович незадолго до смерти писал в журнале «Коммунист»: «Но встречается в искусстве и другая сложность. Она способна ошеломить, озадачить, иногда просто отпугнуть слушателя. Что может сказать уму и сердцу человека математически «вычисленная» структура, если за нею стоит невиданный звуковой хаос? Эта сложность мертва, ибо ничем не наполнена. Она идет от немощи, равнодушия автора, от потери им чувства нравственного и эстетического стыда». Такая музыка «звучит и тут же гаснет: между нею и слушателем стоит глухая стена. Унижено искусство, унижен автор, ибо труд свой он превратил в ничто, в бессмыслицу» [1975, с. 41]. Подводя итог критике формализма так называемого «музыкального авангарда» на Западе, Д. Шоста-

кович писал: «Какая мелкость духа, убожество мысли!.. И все эти фокусы пытаются противопоставить вековым традициям музыки, отринуть, перечеркнуть их! Жалкие потуги... Великая музыка, *вместилище высочайших* духовных прозрений человечества от древних времен и до наших дней, конечно же, не погибнет под натиском «авангарда» [1975, с. 41].

К сожалению, эстетическая всеядность мешает теоретикам «машинного искусства» понять ошибочность высказываний об искусстве и творчестве И. Стравинского, С. Моэма, П. Валери, структуралистов [см.: Гутчин Й. Б., 1969, с. 53; 1973, с. 366]. Эти авторы, несмотря на свои выдающиеся достижения в области музыки, прозы, поэзии, отдали дань увлечения многим течениям буржуазной идеологии. Так, И. Стравинский рассматривал музыку как кантовскую непознаваемую «вещь в себе», П. Валери считал, что стихотворение создается из слов, а не из мыслей, чувств и идеалов поэта. Однако зачем эту идеалистическую и формалистическую философско-эстетическую базу подводить под кибернетическое моделирование искусства? Ведь творческий процесс — не бессмысленное формотворчество, манипуляция знаками, которые имеют свой (неизвестно какой) имманентный смысл и не способны передавать побуждения, чувства и мысли художника. И. Б. Гутчин, напротив, следует за структуралистами, которые «считают, что смысл художественного произведения заключен в нем самом, в его организации, в его структуре» [Гутчин И. Б., 1969, с. 53]. «Если эта посылка верна, — продолжает он, — то отпадает множество возражений против экспериментов по машинному творчеству не только в науке, но и в искусстве. Ведь основные из них были связаны с сакраментальными утверждениями: машина не может чувствовать, переживать, ей чужды эмоции, поэтому она не может и творить, поэтому и произведения машины не могут иметь *никакой ценности*» [Гутчин И. Б., 1969, с. 53].

Через четыре года И. Б. Гутчин станет утверждать: «Полю Валери... признанному мастеру «интеллектуальной поэзии» и ее теоретику принадлежит замечательный афоризм: «Стихотворение создается не из идей и не из чувств: оно создается из слов». Не будем здесь анализировать эстетические концепции Валери и подвергать их критике; но эта словесная формула с точки зрения методов моделирования художественных произведений (но отнюдь не самого творческого процесса) чрезвычайно близка кибернетике» [1973, с. 366]. Увы, эта формула П. Валери — кредо формализма, и кибернетика не имеет к ней никакого отношения. К сожалению, даже среди музыкантов появляются сторонники использования кибернетики как мощного теоретического и технического оружия в борьбе за реабилитацию формализма в модернизированном виде. Это не может не ввести в заблуждение некоторых кибернетиков. Ведь математики-программисты далеко не всегда имеют необходимые для решения поставленных задач глубокие познания в области гуманитарных наук, теории и исто-

рии различных видов искусства, психологии творчества. Как пишет математик А. Степанов, «...музыкальным программированием у нас занимаются программисты-математики, люди, далекие от профессиональной музыки и поэтому неспособные самостоятельно ставить перед собой сколько-нибудь серьезные и обоснованные музыкально-теоретические задачи. За музыкальное программирование они принимаются в основном только потому, что это «интересно», и занимаются им в порядке «самодеятельности» [1967, с. 405]. Именно эта «самодеятельность» и является той психологической почвой, на которой могут процветать авторы концепции «кибернетического творчества». Если к тому же они становятся на позиции формалистической эстетики, то сознательно или неосознанно стремятся лишить творчество человека способности отражения важнейших процессов социальной и личной жизни, выражения в произведении искусства мировоззрения и мироощущения художника через систему художественных образов, идейной оценки отражаемой жизни с позиций определенного общественно-политического и нравственно-эстетического идеала. Но такое творчество превращается в пустое «формотворчество», в комбинацию и перекомбинацию графических или акустических «объектов», на которое будет способна любая примитивная программа ЭВМ. Более того, тогда можно будет «доказать» даже превосходство машины над человеком в «синтезе музыки и стихов». Действительно, если, например, сравнить отрывок из дадаистской «Поэмы», написанной человеком, с «Автопоэмой № 151», синтезированной ЭВМ по программе Г. Штиккеля, то можно смело утверждать «творческое превосходство машины над человеком». Вот этот дадаистский «шедевр» из книги С. Можнягуна «Абстракционизм — разрушение эстетики» [1961, с. 176].

«Гадьи бэри бимба
Гланддрида лаули лоши кадари
Галяма бим бэри глассала.

Это написано на русском языке! Если дадаисты сознательно разрушают слова естественного языка и конструируют новые «фонетические объекты», лишенные какого-либо смысла, то «машинная поэзия» — продукт комбинации слов обычного языка, объединенных на основе некоторых простых правил в предложения. Некоторые из словосочетаний оказываются не лишенными смысла, но в целом «стихотворение» остается бессмысленным:

«Ура! Светлые критики сочиняют
А эффект является медленно
Тепло пускает трели драгоценная бессмыслица
Какой-то образ скользит круглый и твердый
Метрически управляет бессмысленный ритм
Потому что кисть трещит, мы по временам манерны
Завтра явится равновесие быстро

Искусство подвижно и музыкально
Решение учит
Когда появляется равномерность, музицирует материал»

[см.: Завадский С. А., 1973, с. 400].

Но какой ценой достигнуто это «превосходство» машины в производстве отнюдь не «драгоценной» бессмыслицы? Ценой разрушения, уничтожения системы художественной культуры, ликвидации художника как творческой личности. Однако кому нужен такой «художник» и такая «творческая машина»? Кому нужна эта бессмыслица, сочиненная вручную или автоматическим способом? Кому нужен этот отказ от идеала художника-гражданина? Ответ ясен каждому, понимающему роль искусства в современной идеологической борьбе. Ведь основная цель всей буржуазной пропаганды — лишить художника его тенденциозности, партийности, четкой классовой позиции, помешать тому, чтобы люди «по бледным заревам искусства узпали жизни гибельный пожар» [Блок А., 1961, с. 18].

А. Моль так же пытается представить художественное творчество как формалистическую игру, в которой «нужно только соблюдать определенные правила и запреты. Образ шимпанзе-литератора — условная математическая метафора Платона, воскрешенная Эмилем Борелем при размышлениях над сочинениями Дидро, — выступает как бы в роли воинствующего рыцаря «пермутационной литературы». Вооруженный пишущей машинкой, шимпанзе вступает в поединок с традиционной поэзией, представители которой разве что наедине с собой могли допустить, что метрика предполагает предметное *воплощение* слов,— ведь разрезать стих на стопы значит обращаться со слогами, как с предметами, как с фишками, которые можно ссыпать в мешок. Поэтическому гению будущего останется только вытаскивать их из мешка, тщательно заглушая вмешательство рассудка и смотря на себя как на раба собственного алгоритма» [Моль А., 1975, с. 139—140]. И автор приводит множество образцов «пермутационного искусства», которые действительно могли бы быть созданы шимпанзе, вооруженным пишущей машинкой или мешком с литерами. Вот, например, *«стихотворение» из перекомбинации шести* слов:

«на сердце крест владей проигранной любовью
на сердце крест владей любовною игрой
на сердце крест играй властительной любовью
на сердце крест играй любовным овладеньем
на сердце крест люби властительно игру
на сердце крест люби проигранную власть» и т. д.

«Всего, — пишет А. Моль, — имеется 6! = 720 различных комбинаций, список которых и составляет стихотворение [1975, с. 120, 122].

Не удивительно после этого, что А. Моль восхищается поэзией абсурда, леттристами, которые «умерщвляют» лексику: «Мудрые ассонансы и рифмы на концах строк отжили свое, звуковые и буквенные повторы вторгаются внутрь слова, взрывают его изнутри... Слова и звуки языка все больше становятся материальными предметами, вещами, окруженными легкой *дымкой смысла,* трактуемого современной лингвистикой как множество вероятностей *ассоциаций*. Поэт разрезает «содержащее», дробит его на мельчайшие частицы... он открывает для себя ограниченное, но огромное поле свободы для поиска новых материальных форм. Вместо произведения он создает замысел произведения, который затем и реализует сам или с помощью других людей, и только после этого произведение обретает *смысловое содержание*. Последнее строится как некий «континуум», внутри которого имеются сгустки осмысленности. Указать точную локализацию «значения» (или «смысла») такого стихотворения в семантическом поле нелегко» [Моль А., 1975, с. 150—151]. Как образец такой «поэзии» А. Моль приводит «стихотворение» Ф. Дюфрена «Могила Пьера Ларусса»:

«ОРБИ ЭтурБИ — ЖОзе иттюрБИ; ВАлериларБО — ВАлериларБИ;
Валорис БОлеролейРИС ЛОреЛЕЙ; ЛОрел орИОЛ идерЗИ!
КЛОДоклоделерБИ ворБА лурПЕК ноПЛУК
КУпори! КУпорос! ТРИоИ лЭЛьза ГЛОрия ГОсподи — ПОмилуй
сванСЫН...»

[Моль А., 1975, с. 150]. И так далее в том же духе еще восемь строк.

Именно такого рода «пермутационное искусство» и призваны создавать ЭВМ, именно таких «машин-художников» можно создать гораздо легче, чем «машин-ученых»: «Важно отметить, — пишет А. Моль, — что *эстетические критерии качества,* которым должно отвечать машинное творчество, по-видимому, существенно отличаются от требований, которые предъявляются к продукции машины в области науки. Очевидно, что требованиям эстетики удовлетворить в этом отношении легче, чем требованиям науки. Среди всевозможных вариаций, которые может вырабатывать «творческая машина», вариации эстетического характера можно осуществить проще и быстрее... но выполнение «приемочных» требований, предъявляемых к научной продукции, сопряжено с большими материальными трудностями [1975, с. 61].

Действительно, в «пермутационном творчестве» человека легко заменить шимпанзе или машиной. Но «продукт» этого «творчества» не будет иметь никакого отношения к искусству, разумеется, если не оценивать его с позиций формалистической эстетики.

Мы видим, таким образом, что острая идеологическая борьба идет по жизненно важным вопросам развития современного искусства. Об этой борьбе с высокой трибуны XXV съезда КПСС недавно говорил Первый секретарь правления Союза композиторов

СССР Т. Н. Хренников: «...искусство социалистического реализма противостоит элитарному, абстрактному, упадочному искусству буржуазного общества так же, как и его так называемой массовой музыкальной культуре, развращающей художественные вкусы молодежи, нравственно калечащей ее... как правило, в программы большинства музыкальных фестивалей на Западе включаются произведения так называемых авангардистов, представителей крайне модернистских течений современной музыки... Этому музыкальному миру противостоит наш музыкальный мир» [1976, с. 5]. Не в идеалистической эстетике и не в формалистическом искусстве нужно искать основания машинного моделирования художественного творчества. Напротив, только опираясь на диалектико-материалистическую философию, гносеологию и эстетику, на практику классического и современного прогрессивного искусства, кибернетика сможет научно исследовать процессы художественной деятельности и ее продукты, разрабатывать алгоритмы и программы, моделирующие действительные, а не мнимые закономерности творчества.

Цели и задачи моделирования искусства

Прежде всего возникает вопрос: что должен и что может моделировать кибернетик, когда он избирает область искусства? Процесс художественного творчества? Художественную деятельность в целом, которая, наряду с творчеством, включает в себя чрезвычайно разнообразные формы интеллектуального и физического труда, связанного с «ремеслом», «техникой» художника, музыканта, поэта? Или же информационному моделированию подлежит продукт этого процесса — законченные произведения искусства? Или и то и другое вместе (подобно тому, как в эвристической программе ЭВМ, «решая задачу», одновременно моделирует и сам логический механизм решения)? В советской и зарубежной литературе можно встретить провозглашение всех этих целей. Но осуществимы ли они на практике? Обладают ли программисты необходимыми теоретическими и техническими средствами реализации этих целей? А если обладают, то что же тогда делают ЭВМ, когда они «сочиняют стихи и музыку»? Заманчиво попытаться ответить на эти вопросы. Но прежде полезно привести списки целей, которые формулируются в работах, посвященных кибернетике и искусству. Так, Р. Х. Зарипов выдвигает следующие цели моделирования:

1) способствовать «раскрытию тайн природы творчества, природы интуиции как важного фактора любого творческого процесса», поддающегося «формализации, объективному, строгому алгоритмическому описанию» [1971, с. 6];

2) сделать моделирование на ЭВМ инструментом, подтверждающим «те или другие предположения о закономерностях творческого процесса» [1971, с. 10; 1976, с. 328, 342];

3) а также «формальной взаимосвязи различных элементов музыкальных сочинений». «Описать строгим математическим языком принципы, закономерности музыкальных сочинений» [1971, с. 10; 1976, с. 333, 341];

4) «выполнять некоторые (пока простейшие) операции, входящие как в творчество, так и в работу исследователя музыки [1971, с. 8; 1976, с. 336];

5) «подражать различным стилям известных композиторов» [1963, с. 51; 1976, с. 342];

6) «предвидеть стиль будущих композиторов» [1963, с. 51; 1971, с. 10; 1976, с. 346];

7) «сочинять мелодии» [1971, с. 90 и во многих статьях, список которых дан в библиографии книги «Кибернетика и музыка» [1971, с. 227];

8) синтезировать песенный ритм мелодии на заданный стихотворный ритм, учитывать при этом и «семантику (содержание) стихотворного текста, а не только стихотворный ритм» [1971, с. 119—140];

9) гармонизовать мелодии [1971, с. 141];

10) создать программу-экзаменатора для анализа гармонизаций [1971, с. 175];

11) сочинять мелодии песен на стихи [1971, с. 135, 223].

А. Степанов сформулировал цели своего моделирования гораздо скромнее:

1) проверить правила «контрапункта строгого стиля, которые давно проверены многовековой музыкальной практикой и не нуждаются в подтверждении» методами программирования [1967, с. 404];

2) «моделировать достаточно сложные музыкальные закономерности и проверять тем самым достаточно сложные музыкальные теории»;

3) искать новые принципы моделирования музыкальных закономерностей [1967, с. 404].

У. Рейтман считает, что цель эвристического программирования:

1) использовать язык GPS («Общего решателя задач» А. Ньюэлла, Г. Саймона и Дж. Шоу) в качестве средства для изучения поведения (композитора, сочиняющего фугу на фортепиано — *А. М.*), отраженного в протоколе [1968, с. 242];

2) выражать «на четком языке гипотезы о структурах и процессах мышления», создавая программы, имитирующие наблюдаемое поведение «при решении творческих и артистических задач» [1968, с. 243].

Теоретик так называемой «рациональной эстетики» М. Бензе видит в машинном моделировании средство:

1) устранения человека из сферы поэзии (и искусства вообще);

2) преобразования творческого процесса в процесс машинной «реализации» на основе выбора языковых «элементов из репертуа-

ра и их тем или другим распределением, которое само есть только структурная характеристика вероятностных процессов»;

3) превращения компьютера в главный инструмент «реализации» выявленных с помощью топологии, статистики, алгебры характеристик текста и их «синтеза» в определенные структуры (предложения) «на основе генератора случайности, позволяющего вводить... стохастические процессы», имитирующие творческую интуицию человека [см.: Завадский С. А., 1973, с. 394—396].

И. Б. Гутчин, повторяя некоторые цели моделирования, выдвинутые Р. Х. Зариповым, ставит перед кибернетикой и новые:

1) «переложить на машины создание не только полезного, но и прекрасного» [1969, с. 34];

2) создать алгоритмы творчества [1969, с. 38];

3) использовать помощь «ЭВМ в извлечении Гармонии из Хаоса; в создании высокого из низкого» [1973, с. 387].

Анализ работ по информационному моделированию искусства показывает, что на деле осуществлены далеко не все цели. Р. Х. Зарипов осуществил лишь частично пп. 4, 5, 8 и 9; А. Степанов реализовал две цели из трех (пп. 1 и 2); У. Рейтман, создав эвристическую программу «Аргус», выполнил обе задачи. Идеи М. Бензе воплотил в программы для ЭВМ западногерманский кибернетик Г. Штиккель (одна из его «автопоэм» приводилась выше). Характерно, что Г. Штиккель не преувеличивает возможностей ЭВМ: «Утверждение, что компьютер, желая нечто сообщить, выбирает определенное выражение, потому что оно является более художественным или лучше соответствует заданной теме, было бы мистификацией способа работы счетных устройств» [см.: Завадский С. А., 1973, с. 397]. Даже М. Бензе вынужден признать: «Никто не утверждает, что здесь речь идет о поэзии, о естественной человеческой поэзии в прежнем смысле». Поэтому М. Бензе предлагает говорить об «искусственной поэзии», о «синтетических» текстах с «имитированной поэзией» [см.: Завадский С. А., 1973, с. 402]. Таким образом, «машинная поэзия» — это еще один плод современного формалистического «антиискусства».

Что же касается целей, поставленных И. Б. Гутчиным, то они, как нам кажется, продиктованы мечтами, рожденными научно-фантастической литературой, и их неосуществимость очевидна.

Для того, чтобы выяснить причины неосуществимости основных целей, поставленных Р. Х. Зариповым (пп. 1, 2, 3, 6, 7, 11, а другие частично), необходимо рассмотреть его методологические и философско-эстетические позиции, которые оказали непосредственное влияние на методы его программирования.

Работы Р. Х. Зарипова в области моделирования «мелодий» и их «гармонизаций» широко известны по многочисленным публикациям автора [см., например, 1963; 1965; 1967 и др.] — все они были объединены в монографии «Кибернетика и музыка» [1971]. Об этих опытах часто упоминают, их высоко оценивает И. Б. Гутчин [1969; 1973]. Но нередко Р. Х. Зарипова и критикуют за

упрощенчество в понимании многих сложных проблем искусства и творчества [см.: Блок В., 1967; Степанов А., 1967; Пекелис В., 1970; Кроп А. А., 1971; Митрофанов А. С., 1971(б); Завадский С. А., 1973]. Видимо, эта критика повлияла на эволюцию взглядов Р. Х. Зарипова. Так, в публикациях последних лет он отказался от создания программ, подражающих «музыке известных композиторов», стал реже писать о том, что его машина «Урал-2» «сочиняет музыку».

А. Степанов *хорошо охарактеризовал стиль полемики вокруг* работ Р. Х. Зарипова: «...достоинства и недостатки этой работы почему-то связываются с возможностью или невозможностью сочинения музыки на машине. При этом теоретический анализ результатов работы часто подменяется обсуждением на уровне мнений — «нравится или не нравится»... На самом деле, достоинства или недостатки мелодий, сочиненных по программе Зарипова, можно объективно оценить, зная ту задачу, которую поставил перед собой Зарипов и ту программу, которую он составил. Однако никто не сделал попытки теоретического анализа тех закономерностей, которые были заложены в программу» [1967, с. 403]. Можно полностью согласиться с А. Степановым и в том, что «даже недостатки программы (а на самом деле в *основном* недостатки) могли бы дать много полезного и для программирования, и для музыки. Но нет! Вместо серьезного теоретического изучения результатов интересной работы идет, с одной стороны, шумное восхваление успехов «машинного» сочинения музыки в рекламном духе, а с другой — ниспровержение так называемого «упрощенно-кибернетического» подхода к музыке. К сожалению, сам Зарипов способствовал и тому и другому рядом своих выступлений в печати и на телевидении» [1967, с. 403—404].

Анализ работ Р. Х. Зарипова необходим потому, что их автор является искренним энтузиастом машинного моделирования музыки. Разумеется, в одной статье невозможно подробно рассмотреть *все положения, принципы, методы и аргументы, выдвинутые* Р. Х. Зариповым за 15 лет его кибернетико-музыкальной деятельности. Здесь важно изложить главные идеи, которыми исследователь руководствуется при создании своих программ. Во-первых, процесс машинного синтеза основан на последовательном «синтезе» *раздельно: звуковысотных отношений мелодии* (выражаемых системой нотной графики, закодированной на машинном языке), длительностей нот, метрической организации нотного текста, ладо-гармонических функций и структуры (формы) мотива, фразы, предложения (см.: Зарипов Р. Х., 1971, с. 90—91]. Разумеется, реальный процесс сочинения мелодии композитором не осуществляется таким образом, в нем даны в единстве и целостности все эти абстрактно выделенные «стороны». Композитор прежде всего *слышит музыку,* она *звучит* в его воображении или реально (если он проигрывает на инструменте то, что слышит внутренним слухом). Эта звучащая музыка лишь потом, в системе нотной

записи или теоретического анализа, «раскладывается на составляющие»: мелодический рисунок, ритм, метр, музыкальную форму, тембр (или тембры) голоса или инструментов, нюансы, темпы, штрихи, динамические и агогические оттенки.

Во-вторых, Р. Х. Зарипов использует в формализованном виде довольно много простых правил сочетания звуков (нот) в пределах до-мажорного и ля-минорного (гармонического) звукорядов величиной в две октавы. Реальный процесс сочинения музыки включает в себя не 7, а 12 нот в октаве, и не две, а более семи октав. Количество же мелодических, метрических комбинаций (и правил их образования) не идет ни в какое сравнение с теми, что приняты в ЭВМ «Урал-2» и БЭСМ — 6.

В-третьих, ладо-гармонические и ладо-тональные отношения в программах Р. Х. Зарипова заключены в прокрустово ложе трех функций (тоники, доминанты и субдоминанты) и двух тональностей. Композитор же при сочинении песни теоретически может использовать 24 тональности в мажоре и столько же в миноре (если не учитывать, что минор бывает натуральным, гармоническим и мелодическим). Конечно, композитор не использует в одном произведении все тональности, как И. С. Бах в своем «Хорошо темперированном клавире». Но даже когда он пишет в одной тональности, то совершает отклонения и модуляции в другие с помощью чрезвычайно богатых ладо-гармонических средств.

В-четвертых, Р. Х. Зарипов в качестве основного механизма синтеза «мелодий» на ЭВМ применяет «датчик псевдослучайных чисел» [см.: Зарипов Р. Х., 1971, с. 85, 91 и далее]. Этот датчик совместно с формальными правилами отбора из репертуара готовых элементов композиции не может претендовать на роль модели интуитивного выбора в процессе художественного творчества. Случайность в реальном творчестве носит принципиально иной характер и зависит от иных психо-физиологических, биографических и социальных обстоятельств. Элемент случайности в программах Г. Штиккеля и Р. Х. Зарипова (а также других кибернетиков) должен устранить монотонность, однообразие порождаемых «серий». Композитор или поэт избегают однообразия и серости путем свободного целенаправленного поиска музыкально-выразительных и поэтических средств. В этом процессе случайность, неожиданность того или иного мелодического оборота, гармонической функции, ритмической фигуры, словосочетания, рифмы, ассоциации и т. п. может сыграть большую роль в дальнейшей кристаллизации общей идеи, преобразить замысел, повлиять на выбор средств его воплощения. Творческая свобода художника настолько противоположна «машинной псевдослучайности», что даже И. Б. Гутчин был вынужден признать: «Действительно, моделируя произведение, мы создаем порождающий аппарат, чрезвычайно далекий от творческого...» [1973, с. 366]. Таким образом, в программах для ЭВМ «Урал-2» не формализована ни одна из известных закономерностей творчества композитора.

Саму творческую интуицию Р. Х. Зарипов понимает, на наш взгляд, упрощенно. Творческий процесс, по его мнению, состоит из двух частей: 1) сознательной, формально и логически объяснимой и 2) неосознанной, бессознательной, интуитивной. Вторая часть (интуитивная) опирается на первую — рационалистическую. Познание законов природы и процессов творчества становится объективным только тогда, когда его можно промоделировать на ЭВМ [см.: Зарипов Р. Х., 1971, с. 6]. Таким образом, интуиция отождествляется с бессознательным и неосознанным, неосознанное с бессознательным, а сознательное с формально-логическим [о различии этих понятий см., например: Новиков А. А., 1972].

Однако сфера сознательного гораздо шире формально-логического, она включает: чувственные формы познания (ощущения, восприятия, представления); содержательную диалектическую и формальную логики; нравственные (практические, как называл их К. Маркс) чувства (ненависть, любовь, радость, горе, зависть и т. п.); эстетические чувства (наслаждение прекрасным, возвышенным, отвращение к безобразному, низменному, смех над мелким, пошлым, глупым и т. п.); воображение (фантазию), интуицию и волю. Противоречит современному научному познанию и отождествление интуитивного с бессознательным и неосознанным.

Итуиция — явление сознания, хотя и имеет определенную специфику, отличающую ее от формально-логических, дедуктивных процессов. Однако это не значит, что интуиция не имеет своей «логики» и является чем-то алогичным, как это представляется некоторым исследователям. Так, например, А. В. Славин, критикуя В. С. Библера за его попытку представить интуицию как логический процесс, пишет: «Если все без исключения информационные процессы, протекающие в голове субъекта, все закономерности и регулятивные принципы творческого поиска определить как логические, то проблема интуиции не решается, а просто подвергается переформулировке, термин же «логика» при таком чрезмерно расширительном его толковании становится совершенно неопределенным» [1976, с. 169—170]. Однако сам А. В. Славин понимает логику слишком узко: как двузначную формальную логику, хотя известно, что давно уже созданы многозначные логики, модальные, эротетические и другие логики. Наконец, существует диалектическая логика, позволяющая нам вскрыть объективную логику развития любой предметной области действительности. Вот почему А. В. Славин постоянно пишет о том, что логические связи «жестко детерминируют» поиск нового знания [1976, с. 169], что сознательный контроль приводит к «логической скованности» разума [1976, с. 172], которая лишь дисциплинирует мысли, «но может иногда стать препятствием к творческому скачку» [1976, с. 172], что ученый, стремящийся достичь «эффективно-

сти научного творчества», должен временно освобождаться от «„тирании" логической детерминации мышления» [1976, с. 173].

Психологическая структура интуитивного мыслительного акта при решении познавательных задач (в том числе и художественного характера) предполагает по меньшей мере три звена: 1) сознательную постановку цели (задачи) исследования и попытки рационального решения всеми известными методами; 2) неосознанный процесс решения после того, как человек разочаруется в традиционных методах и оставит задачу нерешенной; 3) неожиданное «озарение» («инсайт»), когда в сознании исследователя вдруг возникает идея решения, либо готовый ответ на поставленный вопрос [см.: Пономарев Я. А., 1967. Детальный анализ видов интуиции ученого дан в книге: Бунге М., 1967]. Интуиция — многокачественное образование. В результате процесса уточнения терминологии интуицией, видимо, будет называться только момент осознания нового знания, а не нейродинамические и информационные процессы, предшествующие этому осознанию и лежащие в его основе. Современное состояние исследования проблемы не позволяет сделать такого строгого различия. На ЭВМ можно моделировать механизм работы мозга, лежащий в основе интуитивного акта и приводящий к получению нового знания.

Но заключительный момент интуитивного процесса — осознание нового знания — на современных ЭВМ невозможно смоделировать, так как они не обладают сознанием [см.: Митрофанов А. С., 1971 (а), с. 55].

Интересно отметить, что на эту мысль обратил внимание А. В. Славин, но, к сожалению, воспринял ее искаженно: «Можно, конечно, как полагают некоторые авторы, в процессе «уточнения терминологии» договориться называть интуицией «только момент осознания нового знания», т. е. сам момент качественного скачка, а не процессы, лежащие в его основе и подготавливающие его. Но такая «конвенция» просто переносит центр тяжести проблемы возникновения нового знания в иную плоскость. Едва ли сведéние протекающего во времени процесса к его конечному результату способно продвинуть нас вперед в понимании природы интуиции» [1976, с. 166—167]. Однако в нашей статье нигде нет речи о «конвенции» и «сведéнии», а говорится только о возможности в будущем уточнить содержание и объем понятия интуиции, причем подчеркивается трехзвенная структура интуитивного акта. Разумеется, это уточнение явится следствием отнюдь не формальной конвенции или редукции, а будет результатом длительного прогресса нейрофизиологических, психологических, логических и гносеологических исследований феномена интуиции.

Часто художественное творчество определяют как чувственно-непосредственное познание мира [см., например: Асафьев Б., 1971, с. 60), в отличие от научного творчества, которое отождествляется с опосредствованным абстрактно-логическим познанием. Думается, что при этом путают план *выражения* результатов по-

знания с процессом постижения, открытия и создания этих результатов.

Музыка (как и другие виды искусства) отражает действительность *не только в конкретно-чувственных, но и в абстрактных* формах. Однако музыкальные абстракции качественно иные, чем абстракции в математике, физике или философии. Природа этих абстракций еще мало изучена из-за их сложности. Ведь для их создания необходимы все духовные, интеллектуальные и эмоциональные силы человека. Важно и то, что процесс художественного познания жизни требует не только эстетического, но и чисто философского осмысления судеб людей, народов и государств с позиций определенного мировоззрения, на основе которого складываются мироощущение и мировосприятие художника. Без этого фундамента невозможна эстетическая оценка жизни и воплощение ее в художественно зримых, полнокровных образах. Музыкальное творчество великих композиторов отличается не только чисто формальными признаками, но, главным образом, воплощенным мировоззрением и мироощущением.

Художественный творческий процесс имеет те же формы, что и процесс научного творчества. Он протекает одновременно и на уровне абстрактно-логическом (формулировка идеи произведения, его философской, социально-политической и эстетической концепции; практическое — техническое — осуществление замысла под руководством плана), и на уровне чувственно-образном. Большую роль при этом играют интуитивные процессы обдумывания, «инсайта» («озарения»), работы фантазии и колоссального эмоционального напряжения (чувство вдохновения). Именно поэтому «труд композитора, вместе с тем представляет собой дьявольски серьезное дело, интенсивнейшее напряжение»,— писал К. Маркс (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 46, ч. II с. 110).

Однако продукт творческой деятельности ученого и художника (композитора, писателя) различен, ибо различны не столько психологические механизмы творческого процесса, сколько содержание и логика предмета исследования и ее отражение в продукте. Специфичен и сам материал, в котором ученый и художник воплощают результаты своего труда, и язык, на котором они выражают свои мысли (в науке и искусстве создано много специализированных языков), и знаковые средства, которые используются для построения моделей исследуемых явлений, и, наконец, технические приборы, инструменты, с помощью которых происходит опредмечивание идей и образов. Продукты научного творчества: понятия, теории, проблемы, гипотезы, факты, методы, эксперименты, приборы, позволяющие проводить научные исследования и делать или проверять научные открытия. Продукты художественного творчества: произведения искусства, воплощенные в вещественно-знаковой (музыка, живопись, архитектура, ваяние, театр, кино) или чисто знаковой (литература) форме и являющиеся носителями художественных образов (сложнейшая система

отношений, в которой существует произведение искусства, будет рассмотрена ниже).

Средства оформления художественного содержания, вырабатываемые разными видами искусства, очень своеобразны. Частные искусствоведческие науки (музыковедение, литературоведение, искусствоведение и др.) разработали довольно сложные теории строения форм художественных произведений и способов выражения содержания. Не зная этих теорий (или зная их поверхностно), трудно рассчитывать на успех в моделировании явлений мира искусства.

Однако если существующие логико-математические и алгоритмические средства не позволяют формализовать творческий процесс во всей полноте его существенных свойств, то, может быть, его можно моделировать по частям? Одной из удачных попыток такого рода является эвристическая программа У. Рейтмана [1968], которую автор разработал на основе детального изучения протоколов бесед и магнитофонных записей, фиксировавших размышления (вслух) и игру на фортепиано композитора М. Санчеса, сочинявшего фугу. Изучение процесса сочинения музыки позволило У. Рейтману создать эвристическую программу «Аргус» для моделирования психологического механизма решения задач на аналогию. У. Рейтман подчеркивает, что хотя его программа и моделирует некоторые информационные процессы, присущие мышлению композитора, она не является моделью сочинения музыки. Более того, этот «результат никоим образом нельзя считать теорией творчества, однако он иллюстрирует формы использования нашей аналитической схемы и возможности, заложенные в таком систематическом подходе к психологии художественного творчества» [1968, с. 226]. Конечно, программа У. Рейтмана фиксирует только общую структуру стратегии поиска решения творческой задачи и этапов ее конкретизации, как серии непрерывных уточнений ограничений, налагаемых на составляющие задачу элементы. Наконец, эвристическое программирование стремится учесть специфику композиторского творчества, рассматривая процесс музыкального формообразования в связи с требованиями определенного жанра и инструмента, для которого пишется музыка: «...в произведении должны быть использованы такие комбинации и такая аранжировка, которые возможны только на выбранном инструменте или которые звучат на нем особенно эффектно. Как только композитор задал это общее ограничение и решил написать фугу *для фортепиано,* все характерные признаки фортепиано как инструмента становятся как бы элементами и условиями расширенной формы первоначального общего ограничения. В плане динамики все множество проб и порождающих процессов подчиняется этому ограничению. Они представляют рабочие формы знаний композитора относительно выбранного инструмента» [Рейтман У., 1968, с. 230—231].

К сожалению, большинство работ по моделированию музыкаль-

ного творчества за рубежом и в нашей стране направлено не на изучение деятельности композитора, логики его мышления, используемых им эвристик и т. п., а на анализ нотных текстов, в которых лишь приблизительно фиксируется музыкальное произведение.

Нотный текст и музыка

В литературе по моделированию нередко отождествляют нотную (графическую) запись либо с самим музыкальным произведением (и его звучанием), либо даже с процессом сочинения музыки. Отсюда и возникает иллюзия решения проблемы моделирования творчества: если мы запрограммируем формализованный набор правил организации нотного текста (как в программах Р. Х. Зарипова) или путем вероятностно-статистического анализа выясним средние значения вероятности распределения нот в строке, то программа, «синтеза» и «датчик случайных чисел» позволят ЭВМ получить новые нотные тексты. Этот процесс «синтеза» (или «реализации», по М. Бензе) и называют моделированием творчества композитора, машинным сочинением музыки (аналогично рассуждают, как было показано выше, и теоретики «машинной поэзии»). Подобную некорректность допускает и Р. Х. Зарипов, когда свои «синтезы-реализации» называет «сочинением музыки», «гармонизацией мелодий», «сочинением мелодии на заданный стихотворный ритм» и т. п. Именно это отождествление музыки с нотным текстом, а «синтеза» с композиторским творчеством и является причиной представления о том, что для моделирования и «выявления закономерностей интеллектуальных процессов» «идеальным объектом... является музыка. Она обладает одной важной особенностью, которая с точки зрения возможностей моделирования выгодно отличает ее от других видов искусств» (Речь идет о неизобразительном характере звучания музыки, ее отвлеченности, абстрактности.— *А. М.*). «Это обстоятельство... облегчает моделирование музыкальных сочинений на электронных вычислительных машинах... простых форм музыкального творчества (например, сочинение мелодий песен или танцев)...» [Зарипов Р. Х., 1971, с. 8; 1976, с. 330].

Однако закономерности интуиции и творчества и закономерности структурной организации знаковой формы фиксации продуктов творчества (произведений искусств) — это два принципиально разных класса закономерностей, которые не могут изучаться одним и тем же методом, особенно если он чисто формален. Конечно, какая-то часть закономерностей строения произведения искусства и процесса его создания совпадают. Задача научного исследования как раз и состоит в том, чтобы выявить эти «точки совпадения». Но в целом — это совершенно специфические области исследования. Аналогичная ситуация существует и в науке: «Конечно, способ изложения не может с формальной стороны не от-

личаться от способа исследования,— писал К. Маркс.— Исследование должно детально освоиться с материалом, проанализировать различные формы его развития, проследить их внутреннюю связь. Лишь после того как эта работа закончена, может быть надлежащим образом изображено действительное движение. Раз это удалось и жизнь материала получила свое идеальное отражение, то может показаться, что перед нами априорная конструкция» (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 21).

Именно как к «априорной конструкции», «чисто знаковой структуре» подходят нередко к нотному тексту. Никто не отрицает, что при таком подходе можно получить о тексте новую информацию. Вероятностно-статистический анализ дает нам ряд сведений о статистике распределения отдельных элементов (нотных символов). Но насколько глубоко отражает эта статистика сам процесс создания текста? На этот вопрос данный метод ответить не может. Он констатирует «факт», но не вскрывает причин его возникновения. Исследования нотных текстов И. Штрауса [см.: Зарипов Р. Х., 1963], Ф. Шуберта, Ф. Мендельсона, Р. Шумана и других композиторов методами теории информации [см.: Яглом А. М., Яглом И. М., с. 281—286] оказываются полезными, так как дают нам условные оценки информационных характеристик стиля этих композиторов (энтропии и избыточности в нотных текстах). Это же можно сказать и об исследовании литературных текстов. Так, американский филолог Дж. Магдонунг обработал на ЭВМ 15 688 строк «Илиады» Гомера (в русском переводе Н. И. Гнедича в ней 15 693 строки), чтобы определить авторство (существует версия, что «Илиада» написана несколькими поэтами, жившими в разное время, а Гомер — имя собирательное). Оказалось, что статистика текста в общем постоянна и, следовательно, текст принадлежит одному автору — Гомеру [см.: Рачков П. А., 1974, с. 232]. «Однако до сих пор все полученные оценки информационных характеристик музыкальных произведений все же должны рассматриваться как предварительные и методы их вычисления требуют еще дальнейшего обсуждения»,— пишут А. М. Яглом и И. М. Яглом [1973, с. 285]. Аналогичный вывод можно сделать и относительно работ по информационному анализу литературных текстов.

Несостоятельно и отождествление нот с музыкой, а нотной записи с самим музыкальным произведением. Известно, что музыка существовала в «изустной» традиции многие тысячелетия. Возникновение нотной записи сыграло в развитии музыкального творчества такую же революционную роль, как возникновение письменности для художественной литературы. Вот почему В. Гюго включил нотную графику в число «трех великих символов» (буквы, цифры и ноты). Но было бы неправильно отождествлять эти три формы записи качественно различных интеллектуальных (научных и художественных) процессов. Эти знаковые системы отличаются не только внешней формой (алфавитом, син-

таксисом), но и своим содержанием, которое отражает их особое место в структуре интеллектуальной и практической деятельности человека.

Язык, по определению К. Маркса, является непосредственной действительностью мысли. Если знаковая форма языка относительно адекватно отображает структуру внешней речи человека, то этого нельзя сказать о нотной символике. *Ноты — это язык-посредник* между композитором и исполнителями, который непосредственно *указывает лишь на способ деятельности исполнителя* на определенном музыкальном инструменте (вокальный аппарат можно так же рассматривать как органически присущий человеку музыкальный инструмент, который при постановке голоса лишь усовершенствуется). Это и позволяет сравнивать нотную запись с алгоритмом, программой (системой предписаний), которые должен выполнить музыкант, чтобы воссоздать в звучании музыкальное произведение [Митрофанов А. С., 1971, (б), с. 142—146, 153—154]. Как писал композитор и академик Б. Асафьев, «жизнь музыкального произведения в его исполнении, т. е. в раскрытии его смысла через интонирование для слушателей... Произведение срастается с сознанием слушателей... Напечатанное произведение — ноты — еще не музыка: ее надо воспроизводить — интонировать, нужны инструменты, нужны исполнители» [1971, с. 264—265].

Вот почему семантика нотной записи лежит совершенно в другой плоскости (денотатами, определяющими значения нотных знаков, являются системы действий на конкретных инструментах, которые лишь частично описываются средствами обычного языка) и не совпадает с семантикой реально звучащей музыки. Именно поэтому *нельзя считать способом существования музыкального произведения его только нотную запись и отождествлять ее с ним.* К сожалению, такую ошибку можно встретить и в публикациях по моделированию на ЭВМ, и в литературе, посвященной эстетическим проблемам. Так, например, М. С. Каган пишет: «Всякая нотная запись предназначена, конечно, для звукового исполнения, но, взятая сама по себе, она есть фиксация произведения музыкального искусства, которое мы способны оценить вне его исполнения, до исполнения и независимо от качества исполнения» [1972, с. 346—347]. Однако даже если мы имеем действительно адекватную фиксацию музыкального произведения (например, на магнитной ленте или грампластинке), то и тогда мы не можем утверждать, что способны оценить это произведение «вне исполнения», «до исполнения» и «независимо от качества исполнения» (проигрывания на магнитофоне, проигрывателе). О нотах этого сказать нельзя тем более, так как они не являются совершенным средством записи непосредственного звучания музыки. Конечно, отдельные музыканты могут развить у себя способность слышать музыку при одном только чтении нот. Но эта способность является результатом предшествующей практики игры или пения по но-

там, благодаря чему развивается внутренний музыкальный слух и фантазия. Для таких людей семантика нотной графики, ее «технологическое значение» (как способа деятельности при исполнении), вытесняется семантикой музыкальных звучаний, воссоздаваемых мысленно.

М. С. Каган допускает распространенную среди немузыкантов ошибку, рассматривая нотный текст по аналогии с обычным письменным языком. А это, в свою очередь, детерминирует и ложное понимание природы музыкального творчества: «в музыке, как и в литературе, происходит радикальное изменение структуры самого творчества — выделение «первичного» композиторского творчества, отдалившегося от исполнения и оперирующего письменно фиксируемыми нотными знаками, и чисто исполнительского, «вторичного» творчества, которое лишь интерпретирует избранный для воспроизведения оригинал, озвучивая его» [Каган М. С., 1972, с. 347]. Далее М. С. Каган ссылается на авторитет Б. Асафьева, позиция которого, как показано выше, совершенно противоположна взглядам автора «Морфологии искусства». Пафос всей деятельности академика, композитора и музыканта-теоретика Б. Асафьева был направлен против формалистического подхода к музыке как к мертвой, немой нотной записи, против понимания музыки как собрания сухих, беззвучных форм-схем. Почти каждая страница его фундаментального труда «Музыкальная форма как процесс» содержит высказывания о том, что музыка — это не ноты, а реальные, живые интонации, которые существуют в индивидуальном и общественном сознании, и которые композитор улавливает чутким слухом, творчески переосмысливая в новых произведениях. Вот наиболее важные мысли Б. Асафьева, которые органически вошли в содержание советской музыковедческой науки: «...Обнаружение музыки происходит через процесс оформления звучащего материала, (мне думается, что допустимо понятие звучащего вещества)... при исследовании процессов оформления в музыке никак нельзя исключить самого факта звучания или интонирования... Пока произведение не звучит, не интонируется, — оно все равно что не существует» [1971, с. 26, 54]. И, наконец, еще одно высказывание: «Музыка не существует вне процесса интонирования... И, конечно, по самой сущности свой деятельности, всецело интонационной, исполнитель в интонации осуществляет музыку...» [Асафьев Б., 1971, с. 297].

Если «первичное» композиторское творчество является только комбинацией нотных символов по определенным правилам, то тогда композитор-формалист тоже творит, разбрызгивая тушь по нотной бумаге (как это делают пуантилисты), вычисляя «серии» (как додекафонисты), рисуя черточки, квадратики, линии (как «музыкальные графики»). Тогда и ЭВМ тоже «творит», «сочиняет музыку», так как она комбинирует нотные символы в кодовой форме. Мы видим, таким образом, еще одну ложную идею, подводящую гносеологическую базу под формализм в кибернетике.

Не потому ли М. Каган в своей систематизации видов искусств наравне с реалистическими методами отражения действительности включает и абстракционизм? Действительно, если специфику искусства свести только к знаковой форме, оторванной от содержания, то нельзя отдать предпочтения ни одной из существующих знаков систем — они оказываются равноценными в своей бессодержательности, но в таком случае их уже нельзя вообще рассматривать как знаковые системы. Вот почему прогрессивные музыканты всего мира всегда выступали против формалистического трюкачества акустическими кляксами (как в «конкретной» или алеаторической музыке), всегда отличали подлинное новаторство от мнимого: «Что такое поиск в искусстве? — спрашивает в последней своей статье Д. Шостакович.— То, без чего нет и не может быть искусства. Творчество и поиск — это синонимы. Жажда *нового слова, новых звуков и красок всегда была могучим двигателем* искусства... Убежден, что истинная новация в искусстве — это прежде всего новация духа, идеи. Форма лишь выражает найденное художником новое содержание, воплощает его в материале искусства... Многие сомнительные «новации», которым слепо поклоняются на Западе, бесславно канут в Лету. Останется жить лишь то новаторство, которое выдержало проверку временем, обогатило мировое искусство непреходящими ценностями, ибо осознано и понято миллионами людей» [1975, с. 41, 42]. И, наконец, еще одна мысль: «Музыка только тогда становится фактом бытия, становится живой и действенной, когда она услышана и понята теми, к кому обращена, для кого написана. Это аксиома... К сердцу человеческому всегда будет обращена большая музыка. Откликом этого сердца обретает она свое бессмертие» [Шостакович Д., 1975, с. 43].

«Парадоксальность» существования произведения искусства

Здесь мы вступаем в область эстетики, испещренную «белыми пятнами». Разумеется, в общих чертах эстетика исследовала проблему способа бытия художественного произведения, когда рассматривала природу красоты, возвышенного (и других эстетических категорий), содержания и формы в искусстве, эстетического чувства и художественного восприятия, индивидуальной и социально-исторической обусловленности художественной деятельности и творчества, новаторства и традиций, партийности и народности, *форм обобщения в искусстве (идеализации и типизации)*, природы художественного образа. Хотя проблема существования произведения искусства стала разрабатываться в советской эстетической литературе еще в 20—30-х годах [см.: Асафьев Б.; 1971; Зотов Б., 1923], однако основные публикации появились в течение последних десяти — пятнадцати лет [Адамян А., 1967; Кожинов В. В., 1964; Натев А., 1966; Воробьев Л., 1966; Раппопорт С., 1967; Зелепов Л., 1969; Сохор А., 1969; Горанов К., 1971;

Митрофанов А. С., 1971(б); Корыхалова Н., 1971; Каган М., 1972; Папуш М., 1973; Фомин В., 1973; Малышев И., 1973].

Сложность и неразработанность этой проблемы создала благоприятную почву для идеалистической мистификации искусства в буржуазной эстетике. Критику идеалистических воззрений представителей «семантической философии искусства», особенно спекулирующих на этой проблеме, можно найти в книгах академика А. Егорова [1961], Е. Я. Басина [1973] и в статье академика М. Б. Храпченко [1974],— *гуссерлианской феноменологии* Р. Ингардена — в статьях К. Горанова [1971], Н. Корыхаловой [1971], А. С. Митрофанова [1971(б)] и И. Малышева [1973]. Здесь более уместно остановиться на вульгарно-материалистических концепциях, так как они являются идейной базой многих заблуждений в области «машинного искусства».

При так называемом семиотическом подходе к искусству только как к знаковой системе, *который развивается и некоторыми* кибернетиками, произведение искусства рассматривается с чисто вещной стороны. Естественным следствием такой абсолютизации «материальности» произведения является концепция абсолютного релятивизма при его восприятии. Так, например, Б. А. Успенский пишет: «Произведение искусства может рассматриваться как текст, состоящий из символов, в который каждый подставляет свое собственное содержание (в этом отношении искусство аналогично гаданию, религиозной проповеди и т. д.). При этом социальная обусловленность при подстановке содержания здесь гораздо меньше, нежели в языке...» [1962, с. 125]. И далее: «Явления природы могут не уступать произведениям искусства (при равноправном рассмотрении); однако именно естественность этих явлений, отсутствие задания на содержательную интерпретацию препятствуют их эстетическому восприятию. В то же время с точки зрения религиозного мировоззрения эти явления могут получать осознанный смысл. Ср. речения сектантов как пример ситуации, когда только целевая направленность заставляет «заумные» сочетания звуков *воспринимать как язык*» [*Успенский Б. А., 1962, с. 126*]. Мы видим, что «равноправное рассмотрение» искусства, природы, «бреда сектантов» и формалистической «зауми» [1] возможно только при условии подхода ко всем этим явлениям как к чисто материальным образованиям, под которые можно подвести любой смысл (эстетический, религиозный и т. п.). Однако, как пишет академик М. Б. Храпченко, такое «уравнивание искусства с гаданием *или религиозной проповедью, совершенно несостоятельное* с социально-исторической и методологической точек зрения, означает, помимо всего иного, перечеркивание того огромного и свое-

[1] «Эстетическая ценность «зауми» в том, по-видимому, и состоит, что предполагаются некоторые экспериментальные сочетания с нулевым значением, на которые проецируется уже усвоенная норма» [*Успенский Б. А., 1962, с. 127*].

образного вклада, который вносит искусство в духовную жизнь людей, в познание окружающего нас мира» [1974, с. 16]. Аналогичную критику Б. А. Успенского дает и Ю. Барабаш [1973, с. 246—247].

Наиболее развернутое выражение знаково-вещественная концепция искусства нашла в монографии М. С. Кагана «Морфология искусства» [1972]. Автор назвал ее онтологической (тем самым подчеркивая объективный, материальный характер произведения искусства): «...произведение искусства... создается, существует и предстает перед восприятием прежде всего как некая *материальная конструкция* — сопряжение звуков, объемов, цветовых пятен, слов, движений, т. е. как предмет, имеющий пространственную и временную или пространственно-временную характеристику, и именно таким произведение это остается независимо от того... воспринимают ли его вообще или оно оказывается погребенным в недрах земли, запаснике музея, в фонде библиотеки. Произведение искусства не сводится, конечно, к этой материальной конструкции, но оно не существует вне ее, помимо ее, отдельно от нее и независимо от нее: художественное произведение как духовное образование *имманентно* данной конструкции, находится в ней, от нее неотрывно и лишь через нее воспринимается. Поэтому материально-конструктивная сторона художественного произведения — это его *онтологический статус*, это его фундаментальная основа, условие его реального существования...» [Каган М., 1972, с. 270]. Можно согласиться с М. Каганом в том, что произведение искусства (при чисто эмпирическом подходе) первоначально выступает для воспринимающего своей вещественно-знаковой стороной. Но из этого совершенно не следует, что произведение искусства существует только как материальный предмет (или вещественная конструкция), что оно «как духовное образование *имманентно данной конструкции*».

Такая абсолютизация вещественно-знаковой формы произведения искусства приводит М. Кагана к разработке «онтологического статуса» искусства, который он кладет в основу классификации всех его видов и жанров.

Особенно удивляет, что автор пытается возродить онтологию применительно к искусству, хотя онтологическая метафизика была отвергнута марксизмом даже относительно природы. Если нет онтологии вне гносеологии, нет знания абсолютной системы бытия мира независимо от структуры конкретно-исторической практики общества, то тем более нет никакого онтологического статуса у произведения искусства, так как искусство всегда являлось формой общественного сознания, всегда зависело от субъективной чувственно-предметной практики человека-художника. Никакого иного онтологического статуса у искусства вне человеческой деятельности и человеческого сознания не было и быть не может. К. Маркс не случайно привел парадоксальный пример с железной дорогой, которой не пользуются, говоря, что в таком случае она не сущест-

вует или является ею только в возможности: «Продукт получает свое последнее завершение только в потреблении. Железная дорога, по которой не ездят, которая не используется, не потребляется, есть железная дорога только δυνάμει, а не в действительности... платье становится действительно платьем лишь тогда, когда его носят; дом, в котором не живут, фактически не является действительным домом. Таким образом, продукт, в отличие от простого предмета природы, проявляет себя как продукт, *становится* продуктом только в потреблении. Потребление, уничтожая продукт, этим самым придает ему завершенность, ибо продукт есть [результат] производства не просто как овеществленная деятельность, а лишь как предмет для деятельного субъекта» (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 46, ч. I, с. 27—28). Таким же «предметом для деятельного субъекта» является материально-знаковая форма произведения искусства. Его вещественная структура вне субъекта восприятия не может считаться произведением искусства. Это просто материальный предмет. Только в постоянном процессе его функционирования в художественной практике людей произведение может существовать как единство идеальной (художественно-образной, семантической) и вещественно-знаковой сторон. Значение «материальной конструкции» отнюдь не является ее имманентным свойством, напротив, оно возникает только в той социальной среде, в которую «конструкция» включена как объект художественного восприятия (в этом отношении художественное произведение разделяет судьбу любых знаковых систем). Диалектика существования произведения искусства такова, что в момент восприятия «конструкции» художественно подготовленной публикой, она уже не воспринимается как «материальная конструкция»! Ее материальная вещественно-знаковая сторона растворяется в эстетическом переживании художественных образов искусства, т. е. произведение воспринимается как явление художественной, а не утилитарно-материальной культуры. Его материальность надо понимать не в старом метафизическом смысле (как вещество, протяженное в абсолютном пространстве и длящееся в абсолютном времени), а в диалектико-материалистическом: материальность произведения искусства связана с тем, что оно есть продукт общественных отношений, реализуемых через практику — трудовую творческую деятельность; произведение материально, так как материален процесс деятельности, который его опредмечивает (в творчестве) и распредмечивает (в художественном восприятии).

Мир искусства, его морфологию нужно исследовать таким методом, который бы учитывал объективную диалектику бытия произведения искусства, а не абсолютизировал метафизически один из моментов опредмечивания творческой деятельности в вещественно-знаковых формах — этих «опорных точках» структур деятельности, на основе которых возможно и постижение содержания, смысла произведений, их идеальной художественно-образной сущ-

ности в процессе эстетического восприятия и художественного общения.

Несоответствие метафизической онтологии реальным фактам художественной практики настолько очевидно, что М. Каган вынужден постоянно опровергать сам себя и свою онтологию, впадая в откровенный эклектизм. Так, например, заявив, что бытие музыкального произведения — в нотах и мы о нем можем узнать вне и независимо от всякого исполнения (как возможно такое чудо автор не разъяснил), М. Каган страницей ниже утверждает совершенно противоположное: «Если нотная запись все же может быть прочитана эстетически, то лишь постольку, поскольку она озвучивается воображением, «мысленным слухом» музыкально образованного читателя...», но «даже музыканту профессионалу чтение клавира или партитуры не может заменить слушания музыки...» [1972, с. 347].

С одной стороны, повинуясь требованиям своей онтологии, М. Каган пишет, что «хотя музыка есть искусство звука, ее художественное бытие бывает не только звучащим, но и безмолвным, т. е. графически обозначенным» [1972, с. 346]. С другой стороны, сравнивая литературу и музыку, он утверждает: «...слово есть *чисто условный носитель поэтической информации*, тогда как звуковая интонация является *ее прямым, непосредственным, безусловным выражением*» [1972, с. 347]. Но ведь «звуковой интонации» нет в «безмолвном» художественном бытии. Фактом живого, действенного художественного бытия музыка становится, как говорит и Д. Шостакович, только тогда, когда она услышана и понята теми, к кому обращена. Увы, ложная исходная позиция диктует М. Кагану и соответствующие выводы: «Эти особенности «письменной музыки» не опровергают, конечно, ее морфологического статуса в ряду музыкальных искусств, а лишь позволяют уточнить ее роль в художественной культуре, более скромную, чем роль письменной литературы» [1972, с. 347—348]. Выходит, что вся симфоническая, оперная, камерная, инструментальная, хоровая и вокальная музыка, созданная за последние 350 лет как «письменная» играет скромную роль в художественной культуре. Но какая же музыка в таком случае играет более значительную роль? При всем уважении к музыкальному фольклору («устной музыке») признать за ним эту роль в современном обществе невозможно.

Аналогичные ошибочные выводы делает М. Каган и когда пишет о композиторском творчестве[2], о вокальной и инструменталь-

[2] «Для композиторского же творчества все эти различия (тембров инструментов — *А. М.*) не имеют принципиального значения, так как и в процессе сочинения записываемой музыки, и при воспроизведении в воображении читаемой нотной записи все типы звучаний в принципе равны... Отсюда следует, что «письменная музыка» не имеет внутренних подразделений, связанных с многообразием музыкальных звучаний» [Каган. М., 1972, с. 349].

ной музыке[3]. Каждому профессиональному музыканту очевидна противоположность их истине. Ведь решающую роль звучания — слышания музыки во время творчества отмечали многие композиторы: «Еще чрезвычайно важный фактор, влияющий на процесс музыкального формирования и на результат этого процесса — на произведение,— это музыкальные инструменты, их материал, их строй, тембр, техника игры на них etc.,— писал Б. Асафьев.— Конечно, данный фактор принимается как формообразующий в том случае, если отказаться от абстрактного представления о форме в музыке и от чисто зрительного — архитектонического понимания ее в виде количества тактовых единиц... надо видеть весьма активное воздействие на форму, идущее от инструментализма. В этом отношении старинное деление музыкальных форм на вокальные и инструментальные имеет свое полное основание...» [1971, с. 31—32].

Подробное изложение высказываний М. Кагана о музыке и их критика необходимы потому, что его онтология искусства должна, по мысли автора, охватить с единой точки зрения все виды художественной деятельности, в том числе и музыкальной, чего, якобы, нет в трудах других советских эстетиков. Но эти претензии М. Кагана учесть специфику музыки, как видно, явно не состоятельны.

Если бы М. Каган был последователен, то на основании своей онтологии он должен был бы поместить музыку в разряд «пространственных искусств», а не «временны́х», раз художественное бытие музыки — в нотных знаках, ибо нотная запись — это пространственная, топологическая проекция звучания музыки [см.: Зотов Б., 1923, с. 126—127] или, точнее, топологическая проекция деятельности музыканта-исполнителя на определенном инструменте, о чем уже говорилось выше. То же можно сказать и о литературе. Отнесение ее к разряду «временны́х искусств» также противоречит онтологической концепции, ибо в виде письменного текста литературное произведение является чисто «пространственным»: «временны́м» оно становится в процессе реального звучания (чтения), когда человек своей речевой деятельностью (разумеется, с помощью зрения) оживляет текст (огромная роль воображения в восприятии литературы тоже общеизвестна), переводит его из «пространственной проекции» фонем и интонаций во «временно́й» ряд семантически и эстетически значимой речи. Аналогично и с «пространственно-временны́м» киноискусством — рулон кинопленки вне деятельности киномеханика и работы кинопроектора — это «онтологически» чистое физическое тело, имеющее три измерения в пространстве и одно во времени (разумеется, это не простран-

[3] «На концертной эстраде певец не имеет приоритета по сравнению с пианистом, виолончелистом или саксофонистом», поэтому «неправомерно противопоставление вокальной музыки и музыки инструментальной...» [Каган. М., 1972, с. 350].

ство и время художественного фильма, который мы видим на экране).

Критикуя «психологическое возражение» против онтологии, М. Каган незаметно для себя покидает свою позицию и переходит на точку зрения «психологов» (т. е. тех, кто не мыслит себе существования произведения искусства вне его восприятия сознанием человека). Рассматривая разницу во времени восприятия картины, повести, симфонии, он пишет, что «восприятие музыкального и литературного произведения *равно времени, необходимому для его исполнения...*», что «время восприятия произведений пространственных искусств *абсолютно неопределенно* и варьируется в весьма широком диапазоне» [Каган М., 1972, с. 279]. Это не мешает автору сделать такой самопротиворечивый вывод: «Нам остается заключить, что длительность восприятия разных искусств также находится в прямой зависимости от формы бытия их произведений. Выходит, что не существует достаточно веских аргументов, которые опровергли бы или хотя бы поколебали *исходное онтологическое деление искусств на три класса — пространственных, временных и пространственно-временных искусств*» [1972, с. 279—280]. Однако фактически автор сам поколебал свою онтологическую концепцию, когда отождествил существование музыкальных и литературных произведений со временем их исполнения и восприятия. И сделал совершенно правильно, так как вне восприятия-исполнения нет ни литературы, ни музыки, ни живописи, а есть лишь материальные предметы неопределенного назначения, созданные человеческим трудом из бумаги, холста, с нанесенными на них пятнами краски, или акустические явления, неопределенные по смыслу.

Онтология искусства М. Кагана уязвима и в другом отношении. Метафизический разрыв между пространством и временем явно противоречит не только художественной практике, но и современной физике. Более полувека тому назад А. Эйнштейн показал нерасторжимое единство пространства и времени в качестве четырехмерного *пространственно-временного континуума*. Однако ньютоновская концепция абсолютного пространства и времени *продолжает господствовать в эстетике* М. Кагана: *если следовать* ему, то «материальные конструкции» искусства не подчиняются общефизическим принципам. На самом же деле все произведения любых видов искусства находятся в *пространственно-временном* континууме и как вещественно-знаковые формы, и как объекты художественного восприятия. Не составляют исключения и скульптуры, картины и здания. Другое дело, что кроме физического времени существует историческое, психологическое и другие виды времени [интересное исследование поэтического времени и пространства дано в книге: Гей Н. К., 1975, с. 252—282]. Познание их специфики представляет особую сложность. Сам М. Каган, в противоречии со своей онтологией, столкнулся с этой проблемой: «Сколько времени нужно простоять перед рембрандтовским «Блуд-

ным сыном», чтобы его полностью воспринять?»,— задает он вопрос [1972, с. 279].

Восприятие произведения искусства определяется не только его «онтологическими» пространственно-временны́ми характеристиками, но прежде всего *его содержанием, степенью совершенства художественной формы, уровнем развития самого воспринимающего, характером его жизненного опыта, степенью владения языком данного вида искусства и культуры в целом.*

Как показали исследования психологов, процесс восприятия пространственного изображения — это развернутый во времени процесс рассматривания, причем движения глаз направляются контурами изображаемых объектов и других семантически значимых элементов формы. У людей-афазиков такого точного фиксирования взгляда на контурах изображения нет, поэтому нет и понимания смысла изображения [см.: Блок В., 1970, с. 133—135; Лурия А. Р., 1969, с. 134—136]. Таким образом, зритель тоже является «исполнителем» картины, скульптуры или архитектурного комплекса, как и читатель литературы или слушатель музыки. «Временна́я» характеристика оказывается органически присущей любому произведению живописи, ваяния, зодчества и декоративно-прикладного искусства [см., например: Шмит Ф. И., 1925, с. 101—102]. В сравнении архитектуры с застывшей музыкой заключен не только метафорический смысл. Вот почему вполне адекватное эстетическое восприятие архитектурных ансамблей, например, Ленинграда возможно только в движении — со скоростью 15—20 км в час, т. к. эти ансамбли строились с учетом их восприятия именно во время движения в открытой пролетке. К сожалению, отмечаемая многими невыразительность ряда современных архитектурных комплексов обусловлена не только шаблонностью индустриального строительства, но и тем, что архитекторы не учитывают «фактор времени» в своих композициях, и, следовательно, условий восприятия этой архитектуры людьми. Известная несимметричность в расположении колонн в афинском Парфеноне — еще один исторический пример учета времени и угла восприятия этого здания людьми, шедшими в определенном темпе во время религиозной процессии: оказывается, что при этом несимметричность колонн совершенно незаметна, наоборот, она создает впечатление замкнутого объема, особой целостности художественного ансамбля [см.: Брунов Н. И., 1973].

Фактически произведения всех видов искусства имеют единую пространственно-временну́ю структуру, которая является отражением объективно существующего единства пространственно-временны́х форм бытия всех материальных систем. Было бы чудом, если бы человек в области искусства разорвал эту объективно существующую связь и создал чисто «пространственные» и чисто «временны́е» формы «материальных конструкций» произведений искусства. Однако это не исключает качественного своеобразия характера организации пространственно-временны́х форм в раз-

личных видах искусства, которые и должна выявлять эстетика, изучая морфологию художественных произведений.

В задачи этой статьи не входит анализ всех идей книги М. Кагана «Морфология искусства», таких, например, как противопоставление изобразительности и выразительности в искусстве, гносеологизма и литературоцентризма своему онтологизму, художественного образа и эстетического знака и т. п. Тем более, что пока готовилась к изданию эта статья, в печати появилось изложение обсуждения книги «Морфология искусства» в Комиссии по искусствоведению и критике Президиума Академии художеств СССР совместно с Институтом теории и истории искусства Академии [см.: К спорам о природе искусства. 1974]. Известные эстетики и искусствоведы В. В. Ванслов, Ю. Д. Колпинский, Мих. Лифшиц, Л. Ф. Денисова, А. Е. Горпенко, Н. Н. Козюра и вице-президент Академии художеств СССР В. С. Кеменов дали детальный анализ основных положений концепции М. С. Кагана, показав, что она направлена против теории отражения в марксистско-ленинской эстетике и искусстве социалистического реализма, стремится обосновать с помощью кибернетики и семиотики формализм и абстракционизм в искусстве и теорию «искусства для искусства» в эстетике.

Действительно, работа М. С. Кагана — красноречивый пример ложно понятой интеграции методов точных и естественных наук с эстетикой и искусствоведением. Механическое перенесение не столько методов кибернетики, теории информации и семиотики, сколько их терминологии в новую предметную область — искусство и эстетику — приводит либо к тривиальному перефразированию давно известных положений, либо к ложным философско-методологическим выводам: уклону в вульгарный материализм и позитивизм, правомерности любого формализма и авангардизма в искусстве, признанию их эстетического приоритета перед реализмом. Так возникает порочный круг: ложная эстетическая теория неверно ориентирует кибернетико-информационные исследования искусства, а те, в свою очередь, питают псевдонаучными выводами ложную вещественно-конструктивную («онтологическую») концепцию искусства.

Слабость позиции «онтолога» при классификации искусств происходит потому, что он подошел к анализу произведения как пассивный наблюдатель, воспринимая художественное произведение только в виде материального объекта или в форме созерцания, а не как человеческую чувственную деятельность, практику, не субъективно (см.: Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 3, с. 1). Диалектический подход позволяет понять специфику различных видов искусства с точки зрения активной художественной деятельности общественного субъекта, выступающей в искусстве в форме художественной практики: «Произведение искусства есть продукт реальной — духовно-практической человеческой деятельности... реальная структура — модель жизни, носитель особой социально

необходимой и значимой информации,— пишет К. Горанов.— Хотя вещная реализация произведения, яркость и качество материала имеют такое большое значение для эстетической эффективности художественного произведения,— произведение искусства не вещь, оно — объективированное сложное социальное отношение. Но это не умаляет его объективности точно так же, как из того факта, что стоимость нельзя увидеть под микроскопом, не следует, что она объективно не существует» [Горанов К., 1971, с. 240].

Понимание произведения искусства как модели действительности и сознания художника было развито в статье автора [Митрофанов А. С., 1971(б)]. Аналогичные представления развиваются в статьях многих авторов [см., например: Фомин В., 1973; Малышев И., 1973]. Определение произведения искусства как модели фиксирует его с гносеологической стороны как результат отражения действительности, преобразованной художественным сознанием творца, а также сознанием его «соавторов» — исполнителей и публики [о значении публики для бытия искусства см.: Адамян А., 1967]. Второй важный момент этого определения состоит в том, что оно указывает на специфику существования художественного произведения, так как подчеркивает диалектику его становления в сложной системе деятельности и сознания людей. Сам факт создания произведения художником является завершающим этапом только по отношению к его субъективному творческому процессу. Но одновременно этот этап становится исходным в возникновении произведения как компонента системы искусства, художественной культуры в целом и всех форм общественного сознания.

Парадоксальность существования произведения искусства только кажущаяся и только с позиций метафизики невозможно понять его диалектики: «Предмет искусства,— писал К. Маркс,— то же самое происходит со всяким другим продуктом — создает публику, понимающую искусство и способную наслаждаться красотой. Производство создает поэтому не только предмет для субъекта, но также и субъект для предмета» (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 46, ч. I, с. 28). Развивая эту мысль К. Маркса, К. Горанов пишет: «...здесь выступает противоречивый, парадоксальный характер произведения: оно несет в себе тождество производства и потребления, созидания и восприятия. Оно вызвано к жизни определенными потребностями, но и само рождает новые потребности. Его реальность — социальная...» [1971, с. 233].

Основные этапы возникновения и существования произведения искусства можно схематически представить таким образом. На первом этапе возникновения произведения художник воспринимает ряд явлений действительности, наиболее важные из которых можно символически обозначить: a, b, c, d, e. Этот сырой материал жизни трансформируется в его сознании под влиянием неповторимых особенностей его биографии, усвоенных им форм общественного сознания (философии, системы политических, нравственных,

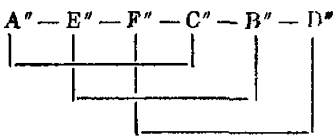
религиозных или атеистических взглядов, убеждений, идеалов). Система языка, на котором говорит художник, система языка искусства, которую он использует для художественного отображения жизни, наконец, система художественной культуры в целом также непосредственно влияют на отбор, идеализацию, обобщение и типизацию явлений действительности. Результат этой сложнейшей, частично осознанной, а частично бессознательной умственной деятельности можно представить так:

A E F C B D

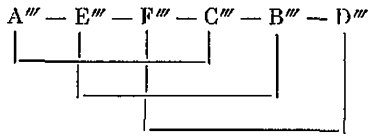
Эта система художественных образов уточняется, конкретизируется в процессе преодоления материала, в котором воплощается произведение искусства (будь то мрамор, краски и полотно, звуки или действующие люди: актеры, певцы, танцоры). На втором этапе результат этой практической и теоретической деятельности фиксируется в вещественной (картина, скульптура, архитектурный макет) или в вещественно-знаковой (текст рассказа или стихотворения, ноты) модели:

$$A' - E' - F' - C' - B' - D'.$$

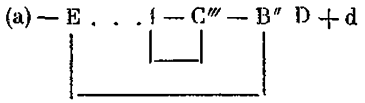
На самом деле второй этап органически сливается с первым, являясь как бы фрагментарной объективацией творческих поисков, вариантов, набросков и т. п., которые часто имеют самостоятельную художественную ценность, если создаются талантливыми художниками. Для исполнительских видов искусств (музыка, театр, кино, балет) наступает третий этап существования — в деятельности исполнителей (индивидуальных или целых коллективов). Этот этап можно назвать «этапом интерпретации» произведения. Он является особенно сложным потому, что Исполнитель должен стать Соавтором: он должен раскрыть содержание и сущность произведения, которые скрыты от него вещественно-знаковой оболочкой. Деятельность его будет тем успешнее, чем лучше он знает те события реальной жизни, которые вдохновили художника на создание произведения, чем детальнее он представляет себе биографию творца, склад его ума, темперамента, характера, особенности его мировоззрения и мироощущения, чем лучше он постиг все тонкости стиля данного художника. Чтобы сделать это возможным, Исполнитель проходит особую подготовку в специализированных учебных заведениях, овладевает определенной культурой интерпретации (так называемая исполнительская школа) и, фактически, учится этому всю жизнь. На третьем этапе произведение искусства подвергается неизбежным изменениям в процессе интерпретации:



Художественный вкус Исполнителя, особенности его биографии, темперамента, характера и мировосприятия — также накладывают отпечаток на форму исходных художественных образов в его сознании. В результате деятельности Исполнителя вещественно-знаковая модель произведения распредмечивается и оживает в реальном звучании (и пластике движений). На этом переходном к последнему этапу существования произведения пути исходная система образов также может либо обогащаться, либо обедняться, что зависит от материальных условий воспроизведения произведения (качество музыкального инструмента, голоса певца или актера, особенности акустики зала и т. п.):



Четвертый этап существования произведения — это этап восприятия его публикой. Степень понимания замысла Исполнителя и идей Автора зависит теперь от того, насколько публика художественно образована, насколько она знает язык данного вида искусства, стиль данного художника, короче говоря, все то, что должен был знать и Исполнитель. Чем более подготовлена публика, тем ближе она к Исполнителю и Автору и тем объективнее она оценивает как деятельность первого, так и содержание и форму произведения, созданного вторым, т. е. художником:



Для «неисполнительских» видов искусства (литературы, живописи, скульптуры, архитектуры — в двух последних тоже есть «исполнительский» момент — отливка формы или постройка здания,— который как правило не вносит ничего существенно нового) изложенная выше схема существования произведения просто сокращается на один этап («этап интерпретации»): публика непосредственно воспринимает вещественную модель — произведение (картину, скульптуру и т. п.). Подобная схема дает возможность лучше понять, *что* в произведении остается инвариантным, устойчивым, а что релятивно, изменчиво, многозначно и, наконец, *почему* это так.

Неизменной (изоморфной) остается вещественно-знаковая система — форма произведения искусства. Относительно неизменной в произведении остается система художественных образов, отражающих существенные, закономерные, типичные стороны и отношения реальной действительности. Приблизительно верное, адекватное восприятие этих образов возможно потому, что публика (так же, как и исполнители) является частью того народа, жизнь

которого отражает художник в своих произведениях, говорит с художником на одном языке, развивается в лоне одной исторической культуры, переживает те же или похожие чувства, стремится к аналогичным нравственным, политическим и т. п. идеалам. Таким образом, мир значений родного языка (вербального и музыкального), мир «второй» (очеловеченной) природы — материальной культуры и, наконец, мир «третьей» природы (по выражению М. Горького): а именно, художественное удвоение природного и социального мира в искусстве — все это является для художника и публики общим. Именно это единое практическое, семантическое и эстетическое поле создает условия для коммуникации между Художником, Исполнителем и Публикой, без которого искусство было бы невозможно. (Существование «научного произведения» — теории, фундаментального факта, научного открытия и т. п. может быть представлено в виде аналогичной схемы, но ее построение не входит в цели нашей статьи.)

Разрыв в связях хотя бы в одном месте рассматриваемой схемы существования произведения искусства неизбежно приводит к тому, что бытие художественного произведения не может осуществиться. Вот наиболее типичные «разрывы»: художник только задумал, но не воплотил свой замысел в вещественно-знаковой форме или воплотил частично (неоконченные замыслы, наброски, фрагменты или части сложного целого); создавая произведение, художник пользуется новым художественным языком (тогда признание за его творчеством качества «художественности» запаздывает до тех пор, пока публика не привыкнет к новому стилю); полный отказ художника от сложившейся системы языка искусства и замена его новыми знаковыми формами, лишенными общезначимой семантики (абстракционизм В. Кандинского, дадаизм, атонализм); вещественно-знаковая форма произведения искусства оказалась частично или полностью разрушенной (поврежденные античные скульптуры, развалины древних храмов, сожженные рукописи, например, второй том «Мертвых душ» Н. Гоголя); вещественно-знаковая форма недоступна восприятию (погребена в земле, хранится в запасниках музея и т. п.); исполнитель не имеет необходимого опыта (техники), таланта, знаний, не владеет стилем определенной исполнительской школы и т. п.; наконец, человек (часть публики) эстетически и художественно неразвит, не владеет художественным языком данного вида искусства (не говоря уже о физических недостатках — слепоте, глухоте), т. е. отсутствуют субъективные условия для восприятия произведения. Имея в виду такой случай, К. Маркс говорил, что для немузыкального уха музыки не существует. Особый случай «разрыва» возникает из-за того, что произведение воспринимает человек иной региональной культуры, например, европеец — китайскую музыку или японский театр «кабуки», араб или негр из Центральной Африки — русскую музыку или французскую импрессионистическую живопись, европеец — индийскую музыку

с ее совершенно иной интерваликой, ритмикой, гармонией и другими элементами музыкального языка [см.: Михайлов Дж., 1973, с. 12].

Наконец, отличие современной исторической эпохи от античной в мировоззрении, мироощущении, эстетическом восприятии природы и жизни лишает нас, например, *возможности* чувствовать *юмор* в комедиях Аристофана, переживать священный ужас перед судьбой или Тартаром и вечными загробными муками в нем, без чего парализуется наше восприятие драматургического «нерва» античных трагедий («Эдипа» Софокла или «Ипполита» Еврипида). Преодолеть этот «исторический барьер» можно лишь с помощью глубокого изучения умершей культуры, ее истории, нравов, общественной *психологии*, *быта*, *способа производства* и всех надстроечных явлений, языка, военной организации, и т. п. Видимо, *имея это в виду*, К. Маркс писал: «...*трудность заключается не* в том, чтобы понять, что греческое искусство и эпос связаны с известными формами общественного развития. Трудность состоит в том, что они все еще доставляют нам художественное наслаждение и в известном отношении признаются нормой и недосягаемым *образцом*» (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 46, ч. I, с. 48).

Моделирование организации нотного текста

Анализ проблемы существования *произведения искусства* позволяет теперь ответить на вопрос: что же реально моделируют программисты на ЭВМ, когда они занимаются «сочинением» или «синтезом» музыкального произведения? Они моделируют лишь одну сторону второго этапа функционирования произведения искусства — его нотный текст. Как уже говорилось, нотный текст — это своеобразный алгоритм деятельности исполнителя и притом алгоритм *очень сложный*. *Кроме нотных знаков в нем используется огромный набор других графических средств* (паузы, аббревиатуры, мелизмы, тремоло, знаки альтерации: диезы, бемоли, бекары, дубль-диезы, -бемоли и -бекары, бекар-диезы и т. п., многочисленное семейство знаков-штрихов: стаккато, сальтандо, спиккато, легато, нон-легато и др.— часто они обозначаются и словами на итальянском языке, знаки динамических оттенков: пиано, пианиссимо, *форте*, *фортиссимо*, меццо-форте, меццо-пиано, сфорцандо, крещендо и диминуэндо, скрипичный, альтовый, теноровый и басовый ключи, флажолеты и др.). Клавиры и партитуры содержат указания нескольких качественно различных типов: а) характера *исполнения* (*словами на родном или иностранном языке*, например, allegro con brio — быстро, с огнем, patetico — патетически), б) звуко-высотные (нотные знаки, диезы, бемоли и бекары), в) ладо-тональные (*указываются обычно при ключе*), г) динамические (сила звука), д) темпа (количество ударов метронома в минуту, например, M=120 для марша), е) агогики (ускорения и замедления темпа), ж) метра (тактового размера: «С» или 4/4, 3/8, 7/16

и т. п.), з) нюансировки (тонких изменений звучания), и) штрихов (способов звукоизвлечения, специфических для каждого вида инструмента) и, наконец, к) особые символы, облегчающие исполнителю усвоение формы произведений. В музыкально-теоретических работах в нотах используют особую символику из латинских букв и римских и арабских цифр, позволяющих кратко записывать особенности голосоведения, ладо-гармонические функции, модуляции и т. п.

В параграфе «Цели и задачи моделирования искусства» приведен список тех элементов нотного текста, который программируется Р. Х. Зариновым: это простейшие элементы и в очень малом количестве, что вполне естественно, если учесть чрезвычайную сложность нотного текста, трудности его формализации, малый объем постоянной и оперативной «памяти» ЭВМ «Урал-2» и т. п. Однако вместо того, чтобы признать эти объективные трудности, Р. Х. Зарипов объявил все элементы нотного текста, не включенные в его программы, несущественными для сочинения музыки: «Поскольку нас будет интересовать исследование принципов построения композиций, то при анализе обращено внимание лишь на те стороны мелодии, которые характерны именно для сочинения ее, а не для исполнения. Так, например, не учитывался тембр, динамика или регистр исполнения — ведь мелодию «Сентиментального вальса» Чайковского мы узнаем независимо от того, будет ли она исполнена сопрано или басом, на скрипке или кларнете, громко или еле слышно. Не учитывались также и различные исполнительские указания, такие, как легато, стаккато и т. п. [1971, с. 16].

Тем самым программист отрицает необходимость для композиторского творчества органической связи с реальными (или мыслимыми) звучаниями, вне которых музыки просто не существует. Конечно, мы можем *узнать* мелодию «Сентиментального вальса» даже если его будут играть, например, на тромбоне фортиссимо. Но это будет уже *не сентиментальный вальс*! Характер музыки изменится коренным образом. Излишне говорить, что именно поэтому П. Чайковский написал этот вальс для фортепиано, а не для тромбона в сопровождении балалайки. Центральным и в процессе сочинения музыки, и в процессе ее исполнения и восприятия является отнюдь не процедура «узнавания» (опознания) звуковысотных отношений. Вот почему композиторы так тщательно фиксируют в нотах, на *каких инструментах, в каком темпе и как надо играть* их произведения. Б. Асафьев, борясь против формализма в музыковедении, неустанно подчеркивал, что «музыка, конкретно звучащая, поддерживает собою существование конструктивных схем, но отнюдь не сами немые, беззвучные схемы-формы «творят» музыку. Вне интонаций они просто не существуют. Это только зрительная проекция музыки допускает выведенное воображением из нее «мнимое» бытие абстрактных схем вне динамики звучания — вне процесса интонирования» [1971, с. 91].

Так как ЭВМ не дан план звучания, то подход к музыке с формально-схематической стороны, учитывающий только «немые» знаки, является неизбежным. Ведь в ячейках запоминающего устройства все ноты равны — они представляют собой лишь различную кодовую комбинацию электрических сигналов. Но неправомерно неспособность алгоритма и ЭВМ отобразить план звучания, подразумеваемый нотной графикой, выдавать за специфику самого исследуемого творческого процесса композитора.

К сожалению, сами того не подозревая, и западные, и некоторые наши программисты создают подходы к моделированию музыкальных текстов, возрождающие формалистическую теорию Ганслика, давно уже отвергнутую советским музыкознанием. Поэтому вместо ожидаемого прогресса от «объективных методов исследования» эти работы могут привести в музыкознании к явному регрессу, к оживлению формализма под сенью авторитета кибернетической науки. Выше уже было показано, как это оживление происходит.

Р. Х. Зарипов и И. Б. Гутчин считают, что трудности моделирования музыкального творчества «не принципиальные, а технические и организационные... И сейчас вряд ли можно указать какую-нибудь принципиальную трудность, препятствующую успешному проведению этих экспериментов» [Зарипов Р. Х., 1971, с. 11]. Это утверждение предполагает решенной проблему искусственного интеллекта, который был бы эквивалентен по своим творческим возможностям человеческому. Но в настоящее время решение этой проблемы — открытый вопрос (см. статью В. С. Тюхтина в этой книге). Легкость моделирования музыкальных сочинений, таким образом, только кажущаяся. Даже чисто формальный анализ нотного текста имеющимися логическими, математическими и техническими средствами (ЭВМ) оказывается чрезвычайно ограниченным. Сам Р. Х. Зарипов вынужден признать, что объем «памяти» ЭВМ не позволяет решать статистические задачи по анализу нотного текста большой протяженности: «...все звуки даже короткой мелодии (например, в форме 8—16 тактового периода), составленной из 35—50 нот, статистически взаимосвязаны, и «коэффициент связности мелодии» имеет значение гораздо выше 10 (речь идет о марковских цепях случайных событий, в которых вероятность появления следующего события — состояния — зависит от предыдущего события, а глубина цепи предшествующих событий невелика — не больше n 10-го порядка.— *А. М.*). Еще в большей степени это относится к произведениям более крупной формы (например, 3-частной, куплетной и т. д.).

Надеяться на машинную реализацию этого метода для значения n, превышающего 10, по меньшей мере наивно. Дело в том, что с увеличением числа n непомерно быстро растет как объем памяти, необходимой для размещения матрицы перехода, так и требуемое количество операций, т. е. необходимое машинное время. Кроме того, при этом нужно анализировать значительно большее коли-

чество мелодий, что опять вызывает дополнительные затруднения.

Особенно наглядно проявляется все это в работах по моделированию музыки определенного стиля, выполненных таким методом...» [1971, с. 46—48].

Метод программирования Р. Х. Зарипова несколько совершеннее зарубежных образцов (основанных обычно на марковском анализе при n не более 4). Р. Х. Зарипов формализует некоторые содержательные правила организации символов нотного текста, которые излагаются в любом учебнике по элементарной теории музыки и гармонии. Однако эти правила не имеют отношения к процессу творчества не только из-за их элементарности. Они входят в «ремесленно-техническую» часть стандартного музыкального образования. Композитор, получивший это начальное образование, использует эти простейшие правила наряду с сотнями других, несравненно более сложных. Но опять-таки не в использовании правил состоит творчество. Творчество по самому своему определению — это создание нового, уникального, неповторимого или, по словам В. Маяковского, «езда в незнаемое». Но это такая «езда», которая прокладывает новые пути, т. е. открывает новые законы, принципы и правила постижения действительности через новые системы музыкальных образов-интонаций.

Надо учитывать также, что композитор сочиняет музыку не на основе знания формальных форм-схем, а на основе богатого слухового опыта: его музыкальная память содержит обычно целую антологию музыки многих времен и народов — реально звучащей в его сознании музыки. Но это еще не все — ведь композитор живет не только в мире музыкальных звуков. К нему можно отнести слова, сказанные академиком А. Н. Колмогоровым о Пушкине: для того, чтобы создать программу, синтезирующую «стихи типа пушкинских», надо промоделировать всю окружающую поэта социальную действительность. Следовательно, нужно «...охватить жизнь музыки над ней, за ней и вокруг нее» [Асафьев Б., 1971, с. 300]. Историки музыки совершенно справедливо указывают на то, что ораторские интонации, которыми была насыщена публичная речь в эпоху великой французской буржуазной революции, повлияли на мелодический стиль музыки Бетховена. Но кто откроет те правила, пользуясь которыми Бетховен вслушивался в звуки окружающей его жизни и черпал из них новые музыкально-гармонические и интонационные формы и образы? [Подробно эта проблема роли внемузыкальной среды в развитии музыки рассмотрена в монографии: Конен В., 1975].

Среди работ по «музыкальному программированию» научной трезвостью и объективностью выгодно выделяется работа математика А. Степанова. Его программа, моделирующая правила контрапункта строгого стиля, позволила получить двух-, трех- и четырехголосные полифонические отрывки длиной в 32 такта в тональности до мажор и ля минор [см.: Степанов, А., 1967, с. 399—402]. А. Степанов не идеализирует достигнутых результатов: «...для

объективной оценки «машинного произведения» необходимо четко представить себе задачу, поставленную программистом, а также изучить принципы построения программы. К сожалению, постановка задачи — это слабое место в музыкальном программировании. Это относится как к работам Зарипова, так и к настоящей работе» (т. е. работе самого А. Степанова — *А. М.*) [См.: Степанов А., 1967, с. 404—405].

В параграфе «Цели и задачи моделирования искусства» был дан перечень более десятка целей. Интересно отметить, что реально осуществленными оказались лишь те из них, которые ставили перед собой формализацию и моделирование определенных *правил организации нотного текста*. И это не случайно. Ведь корректно можно говорить о формализации только относительно имеющейся теории. Программа и представляет собой специфическую формальную языковую (знаковую) систему, построенную по определенным формальным правилам. В этой формальной модели отображается часть содержательных правил музыкальной теории (естественно, это отображение узко, неполно, приблизительно, как и при любой формализации): «Обычно о формальной системе говорят как о системе, состоящей из трех систем: системы ЯС1, системы правил $ПФ_1$ и системы ЯС2, полученной из ЯС1 по $ПФ_1$[4]. Не подразделяя систему на эти три части и не устанавливая вышеописанных отношений, ничего нельзя сказать о том, формальна или содержательна данная система»,— пишет Ю. А. Петров [1974, с. 17]. Гносеологические ошибки мешают постановке конкретных задач программирования, ибо нацеливают кибернетика не на формализацию существующей теории, а на формализацию самого объекта этой теории. Искусствоведческие ошибки приводят к тому, что программист подменяет объект теории музыки — правила формальной взаимосвязи элементов музыкального языка и форм-схем — совершенно другим объектом — композиторским творчеством. Но это объект совсем иной науки — теории композиции, которая еще только складывается как наука.

Неясное понимание места кибернетического моделирования в структуре теоретико-познавательной деятельности приводит И. Б. Гутчина и Р. Х. Зарипова к постановке и такой задачи, как «предвосхищение стиля будущих композиторов» на ЭВМ. Они писали об этом не раз [см.: Зарипов Р. Х., 1963, с. 51; 1971, с. 10; Гутчин И. Б., 1969, с. 44; 1973, с. 380]. На каких фактах основано это утверждение? Может быть хотя бы случайно «программа-композитор» (термин Р. Х. Зарипова) [1965, с. 173] создала строчку нотных символов, которую можно было бы интерпретировать так, что она обладает новыми стилевыми чертами по сравнению с исходными текстами, взятыми для анализа, и исходными правилами,

[4] Языковые системы (символы, строчки символов и их совокупности) Ю. А. Петров обозначает символами ЯС1, ЯС2, а системы формальных правил — символами ПФ1, ПФ2, ..., ПФ, [см.: Петров Ю. А., 1974, с. 17].

запрограммированными в ЭВМ? Ничего подобного не произошло, никакого качественного преобразования музыкальных форм программа в «Урал-2» не совершила. А было вот что. Имея наборы закодированных мелодий с метрической структурой в 2/4 и 4/4, ЭВМ «нашла» метрическую структуру в 3/4. Напомним, что метрическая структура программируется отдельно от мелодической, ритмической и гармонической структур. Если в одном такте четыре четверти, а в другом две четверти, то не представляет большой сложности выполнить тождественное преобразование и дать метрическую группировку на 3/4. Это элементарная арифметическая операция: 4+2=6; 3+3=6. Какой же вывод делают авторы из «открытия»? «Однако известно,— пишет И. Б. Гутчин,— что музыка на 3/4, образуя новую структуру, при восприятии на слух заметно отличается по своему эмоциональному характеру от музыки на 2/4 и 4/4 (как, например, вальс от марша). Отсюда следует, что имеется принципиальная возможность расширить множество классов сочинений, первоначально взятых для анализа... Но отсюда можно сделать и другой замечательный вывод: ниоткуда не следует, что машина будет способна лишь имитировать уже известные композиции и не сможет создать новые музыкальные структуры, строи и тому подобные элементы музыки, то есть, говоря словами создателя описанных идей и программ Р. Х. Зарипова, «предвосхищать стиль будущих композиторов» [Гутчин И. Б., 1969, с. 44; аналогично: Зарипов Р. Х. 1976, с. 345—346].

Оставим на совести авторов открытие музыкальных строев (натуральный и темперированный строи, используемые в европейской музыкальной культуре,— плод тысячелетий закономерного развития музыки, а не чьего-то случайного произвола). Для того, чтобы утверждать об открытии машиной «нового стиля будущих композиторов», нужно еще доказать, что любой метр, в том числе и 3/4, является таким стилеобразующим фактором. Действительно, музыка вальса пишется на 3/4. Но один метр 3/4 не делает музыки! В этом же тактовом размере пишутся и другие танцы: лендлеры (исторические предшественники вальса), мазурки, полонезы, падэспани, миньоны, румбы и даже марши (известная революционная песня «Мы смело в бой пойдем за власть Советов» — пример такого марша). Стилеобразующие факторы находятся не в метрических, а в верхних слоях музыкального языка: ритме, гармонии, полифонии, ладо-тональных, интонационных, мелодических, тембровых и динамических отношениях, а также в крупномасштабных формообразующих факторах. Именно за счет качественного своеобразия композиции этих компонентов музыкальной системы и возникают оригинальные стили Ф. Шопена, П. Чайковского, Э. Грига, А. Скрябина, М. Равеля, Я. Сибелиуса, С. Прокофьева, Д. Шостаковича, А. Хачатуряна и других композиторов, писавших вальсы.

О методологических просчетах одного эксперимента

Существует несколько методов проверки качества программирования: 1) сравнение полученных результатов с поставленной задачей, 2) сопоставление «машинных мелодий» с взятыми за образец для выявления статистических закономерностей (этот прием используется всеми зарубежными кибернетиками и позволяет объективно судить о степени совершенства программ-имитаторов), 3) процент «удачных мелодий» в массиве синтезированных ЭВМ нотных текстов [см.: Яглом А. М., Яглом И. М., 1973, с. 287]. Малый процент хороших с точки зрения программиста «мелодий» говорит о слабости программы.

Ни один из этих объективных методов оценки программирования не был использован Р. Х. Зариповым. Не опубликовал он и соответствующего нотного материала, по которому можно было бы произвести эту оценку. Анализ же синтезированных на «Урал-2» мелодий с эстетической стороны, на чем настаивает Р. Х. Зарипов, раскрывает их удручающее однообразие: комбинаторные перестановки семи нот «разнообразны для глаза», но «однообразны для слуха» [см. нотное приложение к книге «Кибернетика и музыка»: Зарипов Р. Х., с. 215—224]. Это подтверждают и результаты музыкально-социологического «эксперимента», проведенного Р. Х. Зариповым и И. Б. Гутчиным.

Методика «эксперимента» должна была обеспечить условия для объективного (непредвзятого) сравнения музыки, сочиненной человеком и машиной. Авторы стремились преодолеть психологическую установку тех слушателей, которые «знают», что «машина не может сочинять на уровне человека»,— пишет Р. Х. Зарипов.— Говоря проще, этот эксперимент должен запутать слушателя, чтобы он заранее не знал, что оценивает,— машинную или человеческую музыку. Кроме того, такой эксперимент должен дать и объективную оценку машинных композиций, сравнительную с человеческими, т. е. показать уровень их качества» [1971, с. 192—193. Аналогичные места см.: Гутчин И. Б., 1967, с. 54, 60; 1973, с. 384—385]. Итак, объективную оценку программы «Урал-2», с помощью которой «изучен и описан формальным, объективным языком механизм творческой деятельности и его продуктов» [Зарипов Р. Х., 1971, с. 192], должен дать метод А. Тьюринга, основанный на чисто психологическом эффекте «игры в заблуждение». Но как несостоятельна идея доказательства «разумности машины», предложенная Тьюрингом [см.: Митрофанов А. С., 1971(а)], так методологически несостоятельна и ее вариация в «эксперименте» Зарипова — Гутчина.

Слушателей удалось-таки «запутать», но это не повлияло на уровень оценки машинных мелодий, которые оказались посредственными: средний балл (по пятибалльной системе) для «уральских мелодий» — 3,64, средний балл для композиторских мелодий — 3,51 [см.: Гутчин И. Б., 1969, с. 57; 1973, с. 385, Зарипов Р. Х.,

1971, с. 197—199]. Разница в 0,13 балла (в других «экспериментах» она была 0,008, 0,038, 0,151) дала основание в течение многих лет утверждать, что «при моделировании простых форм музыкального творчества полученные машинные результаты не только соизмеримы с человеческими, но и превосходят последние» [см.: Гутчин И. Б., 1969, с. 60; 1973, с. 385; Зарипов Р. Х., 1971, с. 203; 1976, с. 330, 344].

Посмотрим, удалось ли доказать «превосходство» машинных композиций над человеческими. Чтобы среднестатистические 0,13 балла были научным фактом, они должны быть получены на основе методологически безупречных процедур. Если приемы сбора и систематизации табличных и цифровых статистических сведений оторваны от музыковедческой теории, то это приводит к познавательно не оправданному применению статистической техники: «Достоверность статистического суждения, обобщающего индивидуально-изменчивые свойства множества однородных объектов, зависит как от природы изучаемого явления, так и от логического соответствия статистической техники ее познавательным целям, и поэтому знание элементарных логических принципов и правил применительно к статистике важно для каждого соприкасающегося с этой областью науки»,— пишет Л. С. Кучаев в предисловии к книге известного итальянского ученого-статистика К. Джини «Логика в статистике» [Кучаев Л. С., 1973, с. 4].

Какова была «познавательная цель» «эксперимента»? Доказать превосходство «машинных» мелодий над «человеческими» и посрамить всех, кто «знает», что «машина не может сочинять на уровне человека». Для обобщения оценочных суждений о качестве мелодий необходимо было, чтобы они были «однородными объектами»: если машинные «мелодии» отобраны не любые, а лучшие, то и человеческие должны были быть лучшими. Но оказывается, лучшие, популярные мелодии, созданные композиторами, авторов «эксперимента» не устраивали, так как они рождают «разнообразные ассоциации», мешающие объективности эксперимента [см.: Зарипов Р. Х., 1971, с. 194—195; Гутчин И. Б., 1969, с. 54—55; 1973, с. 385]. Впрочем, среди «человеческих» мелодий могли быть и хорошие, по судить об этом невозможно, так как названия песен и фамилии композиторов «для объективности» были засекречены и от участников эксперимента, и от читателей. Этот первый недостаток «объективного» эксперимента можно устранить, рассекретив (в печати) фамилии композиторов и названия их песен.

Второй недостаток «эксперимента» так же связан с несопоставимостью мелодий, так как «природа» их различна. Машинные «мелодии», как уже говорилось,— это синтезированные по формальным правилам строчки нотных символов. Из всего массива (неизвестно какого) этих «синтезов» программист отобрал с его точки зрения «наиболее красивые» для сравнения. Человеческие мелодии создавались по иным правилам и с иной целью. Главная цель композитора не только в том, чтобы написать на стихотворе-

ние «наиболее красивую» мелодию, а в том, чтобы найти музыкальный образ для поэтического текста, органически слить интонацию музыкальную со стихотворной. Красота песни возникает как совокупный художественный эффект всех компонентов: мелодии, гармонии, ритма, фактуры сопровождения, поэтического текста, тембра голоса певца, динамики исполнения и инструментовки [см.: Мазель Л. А., Цуккерман В. А., 1967, с. 48]. Изолировать от этого контекста мелодию (причем, когда этого контекста не знают слушатели) — следовательно, убить песню. Ведь песня — это область напряженнейшей работы мысли и пламенного чувства, говорил Б. Асафьев, это «лаборатория стиля, где преломляются и «перемалываются» традиции озвучиваемой мысли сквозь множество новых, диктуемых жизнью музыкальных интонаций» [1963, с. 127].

В своем интересном исследовании М. Папуш доказывает, что «мелодией нельзя считать последовательность звуков, вырванную из контекста» [1973, с. 166], так как при этом нарушаются системные связи, в результате чего мелодия теряет одни свойства и приобретает другие (разумеется, теряет больше, чем приобретает). Если, например, проиграть мелодию главной партии гениальной «Лунной сонаты» Л. Бетховена, вырванную из общего музыкального контекста, то она изменится до неузнаваемости. В «эксперименте Зарипова — Гутчина» она получила бы, очевидно, невысокий средний балл у слушателей.

Третий *недостаток «объективного эксперимента» состоял в том*, что мелодии слушателям проигрывались на виолончели. При этом требовалось, чтобы они по возможности отвлекались от качества исполнения и лишь оценивали «как понравилась сама мелодия» [Зарипов Р. Х., 1971, с. 194]. Трудно придумать более невыполнимое требование, хотя оно логично вытекает из отождествления музыки с нотной записью, безразличной к звучанию (вспомним пример Р. Х. Зарипова с «Сентиментальным вальсом» П. Чайковского). Если «машинные мелодии» действительно «безразличны» к звучанию, то мелодии, взятые из песен композиторов, напротив, предполагают определенный тембр голоса певца (сопрано, тенор, альт, бас), так как тембр и тесситура голоса существенно влияют на музыкальный образ песни. В виолончельном исполнении неизбежно происходит искажение композиторского замысла, обеднение его, лишение смысла. Напротив, машинные «мелодии» в исполнении Р. Х. Зарипова существенно обогащаются всеми доступными виолончелисту «приемами»: вибрато, штрихами, динамическими и агогическими оттенками. Однако машинная программа не предусматривала всех этих «исполнительных приемов». Следовательно, методологически неверно «включать» их в «машинную музыку» при ее проигрывании. Поэтому адекватным воспроизведением «машинной музыки» должно быть чисто механическое ее проигрывание, при котором точно выполняется лишь то, что предусмотрено программой машинного «синтеза»: высота и длительность нот. Но длительность зависит и от темпа, который выбирает

исполнитель. Следовательно даже в «механическом» воспроизведении будет важный «человеческий» компонент.

Итак, мы видим, что ни по одному из критериев взятые для сопоставления мелодии не являются «однородными объектами». Нет также и логического соответствия статистической техники ее познавательным целям, а, следовательно, и выводы авторов «эксперимента» сомнительны. Однако Р. Х. Зарипов придерживается иного мнения: «...принятая методика эксперимента себя оправдала и позволила преодолеть психологическую предвзятость... слушатели не различали, где человеческое, а где машинное... Так, один участник, по-видимому, считая человеческими мелодиями лишь четыре популярные (которые введены были для разнообразия, но при выведении средних баллов не учитывались — *А. М.*), написал на бланке: «Вся машинная музыка — не музыка, нет чувства...» [1971, с. 195]. Увы, авторы «эксперимента» не видят в посредственном балле и в оценке слушателя, обладающего хорошим музыкальным вкусом, объективного приговора своему далеко не объективному эксперименту.

Как справедливо пишет А. Кроп, «жизненность любого творческого метода (а тем более методов, исключающих и обходящих творческий процесс) может быть подтверждена только единственным способом — созданием шедевров. Только шедевры заставляют нас пересматривать свои эстетические принципы. Версификация ничего не доказывает... Поэтому на риторический вопрос Р. Х. Зарипова: нужна ли «новая музыка, написанная в стиле Чайковского», я с глубоким убеждением отвечаю: «не нужна»..., чтобы версифицировать на основе хорошо известных элементов, машина не нужна, для любого профессионального музыканта версификация не представляет большого труда» [1971, с. 97—98].

Кибернетика, идеология, человек

Вопрос о возможности создания искусственных мыслящих и творческих систем — электронных цифровых вычислительных машин (ЭЦВМ) — имеет принципиальное мировоззренческое значение. Если бы проект «думающих машин» стал осуществимым, это имело бы для человечества более грандиозные последствия, чем овладение огнем или создание ядерного реактора. Вот почему в философской литературе не утихают споры. Вопрос о том, «может ли машина мыслить?» — это новая формулировка древнейшей философской проблемы: может ли материя мыслить? Материализм во всех его исторических формах всегда положительно решал эту проблему, тогда как идеализм любого оттенка отрицал у материи способность к мышлению. Однако в новой, кибернетической формулировке, решение вопроса о соотношении материи и сознания (машины и мышления) не дается автоматически. Из того, что мы признаем у материи способность мыслить, еще не следует, что и одна из форм конкретной организации материи, порожденная чело-

веческим трудом,— ЭЦВМ — тоже способна мыслить. Здесь материалисты резко разделяются на два лагеря: на диалектических материалистов и на вульгарных и механистических материалистов. Первые аргументированно доказывают, что на ЭЦВМ лишь моделируются отдельные мыслительные операции; последние признают принципиальную (абстрактную) и реальную возможность наделить ЭЦВМ мышлением, сознанием, самосознанием и творчеством. Как писал академик П. К. Анохин, «некоторые кибернетики полагают, будто можно все смоделировать и даже создать машины, которые по своим интеллектуальным качествам превзойдут человека. Такие надежды широко распространены среди физиков, математиков, электроников. Однако здесь допускается серьезная логическая ошибка...» [1973, с. 83]. Думается, что это ошибка и логическая, и гносеологическая, т. к. она приводит к механистическим воззрениям на жизнь, психику, интеллект.

Современные механицисты исходят из следующих посылок: 1) мышление — продукт материального органа — мозга, 2) мозг состоит из 10^{14} нейронов, 3) мозг и его функции (мышление) познаваемы, 4) познанное объективными (математическими) методами может быть воспроизведено технически (в ЭВМ), 5) следовательно, ЭВМ, состоящие из 10^{14} логических элементов, могут обладать всеми функциями мозга, включая сознание, самосознание, характер личности и творческое мышление.

В фундаменте такого понимания мозга, мышления и ЭВМ лежат несколько неверных положений: метафизическая абсолютизация закона перехода количественных изменений в качественные и обратно, психо-физический параллелизм (или тождество), абсолютизация логико-математической формализации мышления, биологизация человеческого мозга, сознания и мышления.

Метафизическая абсолютизация закона перехода количественных изменений в качественные и обратно возникают тогда, когда думают, что простое арифметическое увеличение компонентов определенного качества (логических элементов ЭВМ) до 10^{14} даст автоматически любое новое качество — вплоть до сознания и самосознания, творческой гениальности и т. п. Однако ничего подобного не следует из этого закона материалистической диалектики, а данные нейрофизиологии, нейропсихологии и биохимии мозга говорят об огромном разнообразии и сложности организации мозга и многокачественности его компонентов — нервных, глиальных и других клеток.

Это превратное представление о «количестве» без учета его «качества» органически связано с признанием психо-физиологического параллелизма (и даже тождества). Так, например, К. Штейнбух пишет: «Признается в принципе возможным полное объяснение явлений органической жизни и психических процессов исходя из взаимного расположения частей организма и их физического взаимодействия... Каждое субъективное переживание соответствует определенному состоянию организма, которое может быть описано

с помощью физических понятий, и прежде всего оно соответствует состоянию нервной системы, а также отчасти — гуморальной системы и других органов... Для самой системы обработки информации (будь то человек или автомат) определенные процессы предстают как субъективные психические переживания. Эти именно процессы, рассматриваемые со стороны, представляются другому наблюдателю как такие, которые могут быть описаны на языке физики. Но ведь эти два вида представлений идентичны! Таким образом, следует говорить не о психофизическом параллелизме, а о психофизическом тождестве. Это тождество субъективного и объективного мира...» [1967, с. 27, 31]. Так К. Штейнбух от механистического материализма переходит к субъективному идеализму махистского образца и обратно: «Из всего сказанного следует тот неизбежный вывод, что искусственно созданные физические системы могут обладать сознанием. Неоценимое значение для нас имело бы создание физической системы, столь же сложной, как нервная система человека. Пока обратное не доказано, я считаю, что такая система могла бы доказать, что она обладает сознанием (а также чувствами)» [1967, с. 388]. И далее: «Ни в коем случае нельзя согласиться с утверждением или даже предполагать, что для объяснения мыслительной деятельности человека необходимы какие-то нефизические факторы» [1967, с. 432]. Нет нужды опровергать эту очевидно несостоятельную философскую концепцию, тем более, что это уже делалось неоднократно по поводу других сторонников психо-физического тождества в нашей литературе [см.: Шорохова Е. В., 1961; Тюхтин В. С., 1963, 1972].

Абсолютизация логико-математической формализации мышления исходит из представления о том, что все формы и виды умственной деятельности, как бы сложны они ни были, можно «разложить» на простые формально-логические отношения, которыми оперируют в исчислении высказываний и предикатов. Этот «логико-математический редукционизм» упорно не желает считаться с реальным качественным многообразием форм общественного сознания и их несводимостью друг к другу, а также с индивидуальной неповторимостью психологических особенностей мышления у отдельных людей. Не обращает он внимания и на факты истории самой математики, которые убедительно свидетельствуют о крахе логицизма и формализма в обосновании математики. Знаменитая теорема К. Гёделя о неполноте достаточно содержательной формальной системы доказала невозможность полной формализации даже арифметики натуральных чисел. Оказался полностью неформализуемым и естественный язык, так как в настоящее время нельзя выделить в нем такую практически приемлемую систему строчек символов (терминов и предложений) и найти такие правила образования, чтобы получить все остальные строчки символов этого языка, и только их [см.: Петров Ю. А., 1974, с. 18, а также статью В. Н. Тростникова в данной книге].

Современное состояние информационного моделирования мыш-

ления говорит о том, что мы можем формализовать и запрограммировать в ЭВМ любые виды мыслительной деятельности, за исключением тех, в которых существенную роль играет сознание и самосознание, а это те виды мышления, которые издавна принято считать творческими (мышление ученого, писателя, музыканта, композитора, художника, шахматиста, полководца, политического вождя и др.). Ведь в творчестве человек не только действует целесообразно, согласно извне предписанным правилам и законам, но и сам полагает перед собой цели и самостоятельно ищет средства для их воплощения в жизнь. Такое целеполагание принадлежит исключительно человеку как разумному существу, тогда как целесообразность свойственна живым организмам и технике, созданной людьми. Это целеполагающее мышление возможно только при наличии самосознания у субъекта, которое, несмотря на всю его субъективность, является продуктом объективного социального взаимодействия людей: «В плане этой своей существенной всеобщности самосознание для себя реально лишь тогда, когда оно сознает в другом свое отражение (я знаю, что другие знают меня в качестве самих себя) и, принадлежа как чистая духовная всеобщность семье, отечеству и т. д., знает себя как *существенную самость*. (Это самосознание — основа всяких добродетелей, любви, чести, дружбы, храбрости, всякой самоотверженности, всякой славы и т. д.)»,— писал Гегель [1971, с. 90]. Эту же мысль, но освобожденную от идеализма гегелевской «чистой духовной всеобщности», К. Маркс выразил следующим образом: «Так как он родится без зеркала в руках и не фихтеанским философом: «Я есмь я», то человек сначала смотрится, как в зеркало, в другого человека. Лишь отнесясь к человеку Павлу как к себе подобному, человек Петр начинает относиться к самому себе как к человеку. Вместе с тем и Павел как таковой, во всей его павловской телесности, становится для него формой проявления рода «человек»» (Маркс К. и Энгельс Ф. Соч., т. 23, с. 62).

Мы видим, что сознание и самосознание отнюдь не совпадают с теми моделями «среды» и «своих собственных информационных состояний», которые отдельные кибернетики вводят в ЭВМ, чтобы чисто внешне отобразить «эмпирический факт» раздвоенности сознательного мышления. Механизм осознания в процессе мышления, раскрываемый современной психологией, гораздо сложнее; он подчеркивает фундаментальную роль потребностей, детерминирующих деятельность и мышление человека: сознание есть результат субъект-объектного отношения, в котором человек соотносит представление, регулирующее его деятельность, с отражением объекта, воплотившего в себе это представление [см.: Леонтьев А., 1967, с. 422]. Конкретнее это можно себе представить в виде такой цепочки психических образов: а) потребность — б) цель деятельности — в) план (общий) — г) конкретизация плана в процессе реализации — д) структура самой деятельности в целом — е) образ созданного предмета (его свойств, качеств и отношений) — ж) со-

поставление с целью и планом деятельности, которые были первоначально,— з) чувство удовлетворения или разочарования, радости, наслаждения или отчаяния (и т. п. эмоциональные переживания результата деятельности) — и) уточнение старого плана или цели или создание новых целей и т. п. Только в такой сложной цепи отношений объект деятельности может выступить перед субъектом своей идеальной стороной как запечатлевший психическое содержание деятельности. Но такая сложная система образов, связей и опосредствований невозможна только на основе чувственных образов деятельности и ее предмета. Она необходимо должна опираться на язык и систему его значений, грамматических и синтаксических структур, которые позволяют дифференцировать чувственные образы объекта, а затем и интегрировать их в целостные представления или знания об объекте (в зависимости от того, каков объект и каковы те теоретические и инструментальные средства, которыми он создавался). Прежде этот процесс объективизации самосознающего мышления осуществлялся традиционными средствами (в продуктах труда, книгах, картинах, скульптурах, зданиях, технике). С возникновением кибернетики это знание о способах создания объекта (предмета), если оно полное и строго определенное, мы можем с помощью развитых средств формализовать и запрограммировать в ЭВМ, т. е. объективировать, лишив его тем самым сознательного (идеального) качества (когда оно находится вне воспринимающего его субъекта). И предела этому прогрессу в формализации и объективации разумом самого себя нет и быть не может. Это открытый в бесконечность истории процесс.

При биологизации мозга забывают, что он — продукт не только биологической эволюции, но и человеческой истории (в «филогенезе») и взаимодействия с социальной средой, в которую «погружена» личность (в «онтогенезе»).

Биологизация мышления и сознания, т. е. представление сознательного мышления как особой функции мозга только как биологического субстрата, является результатом забвения социальной природы человека. На самом же деле сознание и мышление индивида имеют двойную детерминацию: они зависят как от его мозга (фиксирующего опыт жизни личности и частично «генетический опыт» ее предков), так и от социального окружения (которое влияет на формирование личного опыта индивида и частично на «генетический опыт» его потомков). Причем, общественные условия, в которых развивается человек, имеют решающее значение. Они определяют характер развития и воспитания личности, ее задатков и способностей [см.: Ильенков Э. В., 1968], сферу деятельности в системе общественных отношений, овладение родным языком и иностранными языками, формируют социальные потребности, интересы, цели и идеалы (экономические, политические, нравственные, эстетические, научные, военные и т. п.).

Нередко выдвигают в качестве важнейшего естественнонаучно-

го аргумента в пользу «принципиальной возможности» создания «разумных машин» теорию формальных нейронов У. Мак-Каллока и В. Питтса, которая была основана на формализации некоторых положений электрической теории работы мозга, распространенной в физиологии лет тридцать назад. Согласно этой теории мозг мыслился как сложная система, состоящая из 10—12 миллиардов нейронов, каждый из которых работает по принципу «все или ничего», т. е. проводит или не проводит импульс. И хотя эта электрическая теория не могла объяснить многих свойств мозга, например, функции памяти, она была очень популярна среди кибернетиков, которые увидели в ней доказательство полной аналогии мозга и вычислительной машины. Ведь элементы ЭВМ, программируемой в двоичной системе счисления, также могут находиться в двух состояниях — быть либо включены, либо выключены. Но из этого совпадения делать выводы о тождестве мозга и машины было преждевременно.

Один из создателей теории самовоспроизводящихся автоматов Дж. фон Нейман был очень осторожен в аналогиях между мозгом и ЭВМ: он неоднократно обращал внимание на реальную диалектику прерывного и непрерывного в функционировании нервной и эндокринной систем, выражающуюся в единстве «цифрового» и «аналогового» (моделирующего — в его терминологии) принципов действия и сложной форме их чередования. Дж. фон Нейман видел принципиальную разницу между машиной и мозгом в качестве тех исходных «материалов», из которых они «построены», что детерминирует и надежность, и логическую организацию, и сложность этих систем. В частности, сложность организации живого имеет не столько количественный, сколько качественный характер, от ее уровня зависит наличие свойства самовоспроизведения организмов: при низшем уровне сложности происходит самовырождение, при высоком она становится самоподдерживающейся и может даже расти [см.: Дж. фон Нейман, 1960, с. 86, 92, 101]. Ученый предполагал, что нейрон является цифровым органом типа «все или ничего», только как «рабочую гипотезу», полностью сознавая ее ограниченность: «В том же смысле я полагаю, что нейроны допустимо рассматривать как электрические органы... Что же касается химических реакций и других явлений, сопутствующих этому процессу, то они важны для того, чтобы понять внутренний механизм функционирования нервной клетки. Быть может, они даже более важны, чем электрические явления» [1960, с. 73].

К сожалению, у некоторых зарубежных и советских кибернетиков и философов «рабочая гипотеза» превратилась в якобы доказанный научный «факт». И это несмотря на то, что дальнейшее развитие нейрофизиологии и создание хемо-электрической теории мозга подтвердило предположение Дж. фон Неймана: химические реакции оказались более важны для понимания внутренних механизмов функционирования нейронов, чем электрические явления. Современные нейрофизиология, нейропсихология и биохимия мозга

раскрыли колоссальную сложность «поведения» живых нейронов, наличия у них не двух (возбуждение и торможение), а бесконечного множества состояний, что особенно важно учитывать при рассмотрении мозга именно как органа мышления: «Для понимания этого ответственного синтетического процесса в интеллектуальной деятельности,— писал академик П. К. Анохин,— мы должны представить себе отдельный нейрон и миллионы нейронов как образования, обладающие бесчисленным количеством степеней свободы, которые обусловлены способностью нейрона производить самые разнообразные конфигурации нервных разрядов» [1973, с. 90].

Оптимизм сторонников абстрактных «принципиальных возможностей» либо игнорирует реальные трудности, стоящие перед кибернетикой, либо пытается их обойти с помощью некорректной интерпретации «теории формальных нейронов» У. Мак-Каллока и В. Питтса. Из этой теории, например, И. Б. Гутчин выводит так называемый «основной гносеологический результат кибернетики»: «Она (теорема — *А. М.*) утверждает, что любая функция естественной нервной системы, которая может быть описана в некотором логическом исчислении при помощи конечного числа слов, может быть реализована формальной нервной сетью... Отсюда и вытекает основной гносеологический результат кибернетики; любая строго очерченная область мыслительной деятельности человека (в том числе и в сфере искусства) в принципе может быть алгоритмически описана и, следовательно, воспроизведена машиной. Если рассмотреть этот результат с точки зрения потенциальной осуществимости, то есть отвлекаясь от ограниченности материальных возможностей в создании машин, то в решении проблем искусственного интеллекта он представляется достаточно универсальным. Однако на уровне технически достижимых решений здесь трудно ожидать в обозримом будущем радикальных результатов» [1973, с. 372—373].

Во-первых, У. Мак-Каллок и В. Питтс дают не одну, а десять теорем. Во-вторых, они говорят не о «любой функции естественной нервной системы», включая искусство, а о строго ограниченном числе *физиологических* функций нейрона: возбуждении и торможении, латентном периоде, синаптической задержке, неизменности структуры сети с течением времени. В-третьих, авторы говорят об определенном логико-математическом языке предложений, развитом Р. Карнапом, и дополненном ими различными обозначениями из «Принципов математики» Б. Рассела и А. Уайтхеда [см.: Мак-Каллок У. С., Питтс В., 1956, с. 366—367]. Разумеется, любой специалист знает, что́ можно описать на этом языке, а что́ нельзя. У И. Б. Гутчина же этот конкретный язык превращается в неопределенное «некоторое логическое исчисление». Таким образом, очевидно, что теоремы У. Мак-Каллока и В. Питтса не имеют никакого отношения к «основному гносеологическому результату кибернетики», декларируемому И. Б. Гутчиным. Доказа-

тельств же своего тезиса автор, к сожалению, не приводит. Кстати, интересно отметить, что Дж. фон Нейман, как бы предвидя возможность подобных интерпретаций теории формальных нейронов, говорил: «Точно так же представляется важным и то, что не вытекает из результата Маккаллока и Питтса. Из него не вытекает доказательства того, что любая схема, составленная таким образом, действительно встречается в природе. Из него не вытекает, что другие функции нервной клетки, которые выпали из нашего рассмотрения, не являются существенными. Из него не вытекает, что в утверждении «о чем ты думаешь, то можешь описать» не осталось никаких проблем. Постараюсь выразить эту мысль иначе. Изучая определенные стороны деятельности нервной системы человека, вы обнаружите, что некоторые из них таковы, что каждый их элемент в отдельности легко описать, но вы будете поражены общим объемом того, что нужно для описания в целом» [1971, с. 66]. В качестве примера Дж. фон Нейман приводил работу зрительного анализатора, когда каждый отдельный случай при распознавании образа «мы еще в состоянии описать, но когда речь идет обо всем зрительном механизме, позволяющем интерпретировать рисунок, вкладывать что-то в него, мы сталкиваемся с областями, заведомо не поддающимися описанию на этом языке» [1971, с. 66]. Творцы кибернетики, как видно, не боялись сказать об ограниченности своих моделей и теорий.

Советские нейрокибернетики С. Н. Брайнес и В. Б. Свечинский в своей монографии убедительно показывают, что теория формальных нейронов Мак-Каллока и Питтса не дала «удовлетворительной модели мозга» [1968, с. 63], так как их нейронные сети полностью детерминированы и находятся в довольно жесткой зависимости от задачи, решаемой этой сетью: «Это свойство сетей Мак-Каллока и Питтса не соответствовало представлениям о мозге, в связи с чем развилось направление, изучающее *нейронные сети со случайной* организацией... предположение о жесткой алгоритмической структуре мозга приходится отбросить, поскольку... это требует передачи слишком большого объема наследственной информации. Во-вторых, в модели Мак Каллока и Питтса невозможна устойчивая память, т. е. длительная память, не разрушающаяся при хотя бы кратковременном прекращении функционирования сети» [1968, с. 63, 71—72]. Именно поэтому в дальнейшем были созданы более богатые по своим функциям сети формальных нейронов: модель А. Н. Радченко, в которой учитываются временные свойства нейрона, что придает «сетям из таких нейронов свойства адаптации и запоминания информации» по ассоциативному принципу [Брайнес С. Н., Свечинский В. Б., 1968, с. 77], варианты адаптивных моделей нейронов, основанные на случайной, вероятностной организации нервных сетей и способные к обучению, были созданы Б. Фарли, У. Кларком, Ф. Розенблаттом и У. Мак-Каллоком. Однако и эти, более богатые, модели нейронных сетей не могут претендовать на «роль основного гносеологического результата киберне-

тики», который, таким образом, является продуктом странной игры «гносеологической фантазии».

Как неудачи, так и преувеличения современных возможностей ЭВМ в создании «искусственного интеллекта» обусловлены трудностями познания новой предметной области. Недовольство «машинопоклонников» (как называл мечтателей о машинном разуме Н. Винер) философскими «запретами» вполне объяснимо. Любая наука конституируется как наука только тогда, когда она имеет четко очерченную область «возможного и невозможного». Информационное (алгоритмическое) моделирование как научный метод также имеет свои границы. Любая модель принципиально не полна. А полное воспроизведение исследуемого объекта (мыслящего человека) со всеми его существенными и индивидуальными особенностями уже не является моделированием [подробнее см.: Кочергин А. Н., 1969]. Вот почему на вопросы, встречающиеся в литературе: «Может ли машина мыслить?», «Можно ли создать робота, обладающего самосознанием и всеми чертами личности, характера человека?», «Можно ли создать машину-художника (композитора, поэта) или машину-ученого (физика, химика, математика)?» — на все эти некорректно поставленные вопросы следует дать отрицательный ответ. Ибо кибернетика не занимается воссозданием, воспроизведением человека, она лишь п о з н а е т его отдельные особенности своими специфическими средствами, как теоретическими (математическими и логическими), так и экспериментальными (моделированием на ЭВМ).

Кибернетика открыла новую главу в общей «драме познания», причем, может быть, самую драматическую, так как сделала объектом исследования — экспериментальное вопроизведение (моделирование) мыслительной деятельности самого человека. Эта драма сплела в единый узел и философию, и политику, и математику, и кибернетику. Действительно, с первых дней своего существования новая наука приобрела ярко выраженный идеологический и политический характер. Рекламная шумиха по поводу «думающих машин», «электронных супермозгов» и т. п., поднятая на Западе, имела своей задачей не только погоню за прибылями новых электронных фирм. Была и еще одна чисто стратегическая цель: помешать развитию кибернетики в странах социализма. Расчет был прост: зная идеологический климат того периода, нетрудно было предвидеть негативную оценку нового мифа о «думающих машинах» и практические последствия этого. Известный догматизм, неспособность отдельных философов следовать ленинскому завету: уметь взять все ценное у буржуазных ученых и отсечь все реакционные философские выводы — вот причина того, что кибернетика была названа «человеконенавистнической лжетеорией» [см.: Материалист, 1953, с. 219].

Гносеологические ошибки «Материалиста» и других тогдашних ниспровергателей кибернетики состояли в том, что они отождествили философские спекуляции на достижениях новой науки с са-

мой теоретической и технической кибернетикой, заклеймили как лженаучные и саму науку, и ее неопозитивистские, бихевиористские, вульгарно-материалистические и механистические интерпретации. Более того, признавая практические достижения кибернетики, они отрицали теоретические принципы и систему понятий, лежавших в основе конструирования и программирования ЭВМ. Статья академика С. Л. Соболева, А. И. Китова и А. А. Ляпунова (1955), подытожившая первые позитивные дискуссии о предмете и методах кибернетики, выдвинула ряд ценных идей для дальнейшего методологического и философского анализа. Одна из них актуальна и сейчас: «Некоторые философы допустили серьезную ошибку: не разобравшись в существе вопросов, они стали отрицать значение нового направления в науке в основном из-за того, что вокруг этого направления была поднята за рубежом сенсационная шумиха, из-за того, что некоторые невежественные буржуазные журналисты занялись рекламой и дешевыми спекуляциями вокруг кибернетики, а реакционные деятели сделали все возможное, чтобы использовать новое направление в науке в своих классовых целях. Не исключена возможность, что усиленное, реакционное, идеалистическое толкование кибернетики в популярной реакционной литературе было специально организовано с целью дезориентации советских ученых и инженеров, с тем, чтобы затормозить развитие важного научного направления в нашей стране» [Соболев С. Л., Китов А. И., Ляпунов А. А., 1955, с. 147].

Мы вынуждены вспоминать об этом печальном периоде в развитии кибернетики потому, что и сейчас еще имеются люди, которые не понимают классовых причин тогдашних ошибок, не осознают возможности идеологических диверсий как в прошлом, так и в настоящем. Было бы наивным полагать, что центры идеологической войны на Западе успокоились и смирились со своим поражением. Вот почему после XX съезда партии, когда в области развития кибернетики был взят правильный курс и наметившееся отставание было вскоре ликвидировано, пропагандистская машина США и других стран стала еще сильнее раздувать огонь рекламы «мыслящих машин», «сверхразумных супермозгов», «машин умнее своего создателя». Расчет и на этот раз был ясен: сыграть на том энтузиазме, с которым научная общественность встретила реабилитацию кибернетики как науки, и попытаться внедрить в общественное сознание те идеалистические и вульгарно-материалистические идеи, с помощью которых якобы научно доказывается возможность создания «мыслящих машин».

К сожалению, идеологическая подоплека дискуссии о «думающих машинах» осознается не сразу. Но известно, что идеология и практика неразрывно связаны. Поэтому декларации о принципиальном или скором создании «искусственного разума», «думающих роботов» и т. п. не так уж безобидны в социально-практическом плане: они порождают несбыточные надежды у научной молодежи, ложно ориентируют в выборе объектов и методов моде-

лирования, что приводит к хроническим практическим неудачам в создании «думающих ЭВМ» (всем известен длительный кризис машинного перевода с языка на язык, провал расшифровки рукописей майя, недостаточная эффективность АСУ, работающих в недиалоговом режиме, несовершенство шахматных программ, примитивность машинных «стихов» и «мелодий»). Неудачи же рано или поздно порождают пессимизм и неверие в реальные возможности вычислительной техники и кибернетики в области моделирования сложных мыслительных функций. Так рождается нездоровый социально-психологический климат вокруг кибернетики, который отнюдь не способствует активизации творческих усилий в нужном направлении. Однако это-то как раз и нужно западным идеологическим центрам! Немаловажно учесть и то, что, например, в США, на словах раздувая шумиху вокруг «разумных машин», на деле сразу же взяли курс на создание человеко-машинных систем.

Преувеличение возможностей машин неизбежно связано с преуменьшением возможностей человека, о чем хорошо писал в своей последней книге «Творец и робот» Н. Винер [1966]. Машинопоклонничество приводит к тому, что целый ряд экономических, военно-стратегических, научно-космических и художественно-искусствоведческих проблем мыслится разрешимым только при полной автоматизации необходимых расчетов, которая зависит от формализации и алгоритмизации управляющей, координирующей, теоретической и художественной деятельности.

Разумеется, следствием такого подхода является тенденция полностью вытеснить людей электронно-вычислительной техникой. Действительно, в решении многих локальных задач современные математические и логико-математические теории позволяют достичь полной формализации и алгоритмизации. Но в тех областях практической, научной и художественной деятельности, где объект еще мало изучен, где творческий характер мышления преобладает, где невозможно еще выявить все действующие законы и специфические условия их проявления, установка на полную машинизацию и автоматизацию оказывается несостоятельной. На нереальность этой установки в современных условиях всегда указывали советские философы, специально разрабатывающие философские вопросы кибернетики [см.: Новик И. Б., 1963; Шалютин С. М., 1964; Копнин П. В., 1966, 1969; Кедров Б. М., 1967; Кочергин А. Н., 1969; Митрофанов А. С., 1971 (а), 1971 (б); Спиркин А. Г., 1972; Тюхтин В. С., 1963, 1972; Украинцев Б. С., 1972 и другие].

В начале 70-х годов ошибочность ориентации на полную автоматизацию любых процессов была осознана и самими кибернетиками. Одними из первых выступили украинские ученые под руководством директора Института кибернетики АН УССР академика В. Глушкова: «... совершенствование ЭЦВМ идет не столько по пути увеличения их быстродействия, сколько по пути превращения машины в помощника и партнера человека. Идея совместного

решения задач человеком и машиной становится все более привлекательной — оказалось, что творческие способности и интуиция человека, усиленные таким мощным средством переработки информации, как вычислительная машина, приобретают качественно новые возможности. Последнее позволило существенно расширить сферы использования ЭВМ и, следовательно,— увеличить диапазон задач, решаемых с их помощью. Иными словами, *теперь мы говорим о решении задач не машиной и человеком порознь, а системой «человек — вычислительная машина»*, причем процесс решения все более напоминает диалог между человеком и ЭЦВМ» [Человек и вычислительная техника, 1971, с. 5].

Сторонники «принципиальной возможности создания думающих машин» напрасно думают, что те, кто с ними не согласен, ставят пределы развитию кибернетики. Наоборот, освобожденная от фантастических мечтаний, наука сможет создавать новые теории функционирования мозгоподобных систем и имитировать, моделировать на ЭВМ (дискретного и аналогового принципов действия и их симбиозах) все более сложные функции мышления. В этом направлении кибернетика успешно движется уже три десятилетия и возможности, открывающиеся перед математиками-программистами и конструкторами ЭВМ, далеко еще не исчерпаны. Найти же среди бесчисленных абстрактных возможностей реальные, конкретные — нелегко. Кстати, сторонники «принципиальных возможностей создания думающих машин» сами вынуждены признать, что такие *машины сейчас технически неосуществимы* и практически нецелесообразны. Но в таком случае становится неясно какие технические, практические и научные перспективы они открывают? Увы, они создают только видимость свободы научного поиска, а на деле направляют его «в никуда». Но это и не может быть иначе, раз «...абстракция, постигающая себя как абстракция, знает, что она есть ничто»,— как писал К. Маркс (Маркс К. и Энгельс Ф. Из ранних произведений. М., 1956, с. 639).

Итоги и перспективы моделирования искусства

Итак, каковы на сегодня результаты кибернетического моделирования теорий строения музыкальных и поэтических произведений и самого творческого процесса? Среди них есть и негативные, и позитивные. Прежде всего, в «музыкальном» и «поэтическом» программировании не учитываются психологические особенности творческой деятельности (эвристическая модель У. Рейтмана — приятное исключение).

Современные программы не являются и моделями неосознанного этапа интуитивного акта, хотя чисто гипотетически можно предположить, что на уровне подсознания осуществляется какой-то синтез микроэлементов художественной формы как и любой мыслительной формы вообще [см.: Митрофанов А. С., 1971 (а)]. Однако эту гипотезу можно доказать или опровергнуть конкретным ней-

рофизиологическим и нейропсихологическим анализом работы мозга и мышления художника. Что же касается формы музыкального произведения, то на ЭВМ можно моделировать лишь одну из ее внешне-абстрактных сторон — нотный текст и то в чрезвычайно обедненном виде. А более глубокие структуры, раскрываемые правилами организации записи музыки, программируются пока в элементарной форме (8-тактовая масштабно-тематическая структура у Р. Х. Зарипова, ряд правил контрапункта строгого стиля у А. Степанова).

Методы кибернетического подхода к искусству пока недостаточно развиты, чтобы создать модель музыкального или поэтического произведения как целостной художественной системы. Эти методы оставляют в стороне само содержание произведений искусства, хотя отдельным фрагментам «синтезированных» строчек нотных и буквенных символов *мы можем придать* какой-либо смысл на основе содержательности компонентов знаковой формы. К тому же мы обогащаем их содержательность при соответствующей интерпретации (такова уж природа нашего сознания, что даже в бессмысленных пятнах Роршаха оно видит иногда очертания предметов, игру света и тени в облаках воспринимает как гигантские скульптуры чудовищ). Здесь действует продуктивная сила человеческого воображения. ЭВМ же не способны осуществить функцию интерпретации синтезированных ею знаковых композиций, так как она не является самоорганизующейся системой и не обладает сознанием и самосознанием. «Быть может, не стоит сгущать краски и нужно отдать должное честным труженикам,— результаты моделирования «творческих процессов», несомненно, позитивны и далеко не обескураживают,— пишет И. А. Полетаев.— Они всего лишь недостаточны. Работа все еще находится в стадии робких «первых проб» и на этом этапе было бы зазнайством ожидать сразу появления «шедевров». Но даже вполне корректно-музыкальные мелодии, сочиненные машиной по изощренным программам Р. Зарипова, не говоря уже о машинных стихах... оставляют впечатление, что результаты функционирования «искусственного творческого интеллекта», полученные до сего дня, могут быть приняты за произведения искусства только на уровне вкусов эпохи, когда утеряно различие между «прекрасным», с одной стороны, и «оригинальным», причудливым, невиданным — с другой. Еще существеннее, пожалуй, тот факт, что мелодии и стихи сочиняются машиной «не так», не тем процессом (включающим в себя побуждения, интуицию, «вдохновение» и так далее), который реализуется композитором или поэтом во плоти и крови. Современные «модели творческих процессов» не нацелены внутрь, не пытаются раскрыть и использовать, так сказать, «естественные алгоритмы» творчества человека. Современные машинные стихи напоминают по природе музыку курантов, причем предлагается считать, что куранты эту музыку сочиняют сами» [1971, с. 17—18].

Информационное (или кибернетическое) моделирование явле-

ний художественной деятельности и ее продуктов — произведений искусства нуждается во всестороннем и глубоком философском, гносеологическом, методологическом и эстетическом обосновании. Без такого обоснования оно неизбежно будет совершать ошибки, о которых говорилось выше. И. А. Полетаев образно сравнивает моделирование психических процессов и их результатов с плаванием «по морю, полному рифов, где методологические погрешности выбора курса ведут к пробоинам в днище (подчас незаметным сразу) со всеми грустными последствиями» [1971, с. 18]. Эти пробоины в днище особенно опасны потому, что через них в «кибернетический корабль» устремляется реакционная буржуазная эстетика, оправдывающая формализм, абстракционизм, «музыкальный авангардизм» в различных его формах.

Как показывает опыт, отдельные представители научно-технической интеллигенции зачастую бывают не способны успешно противостоять буржуазной идеологии, особенно если ее носителями выступают талантливые зарубежные художники. Им бывает трудно понять, что «реальная взаимосвязь объекта и субъекта в процессе художественного познания,— как пишет академик А. Г. Егоров,— зависимость художника от окружающей действительности и его воздействие на людей, на общество получают в буржуазной эстетике превратное истолкование: творческий процесс теряет весь свой смысл и мыслится как деятельность бесплодная и бессмысленная, пустая игра праздного воображения, потерявшего всякую связь с объективным миром» [1961, с. 31]. Вот почему необходим теснейший союз математиков-программистов, кибернетиков с представителями марксистско-ленинской эстетики и искусствоведения. Комплексная проблема требует и комплексного решения, интеграции естественных и общественных наук. И тогда математикам-программистам легче будет разобраться в сложнейших социальных, политических, нравственных и эстетических связях, в которые органически включен художник и его произведения: «...рисуя действительность, художник всегда выражает свое отношение к тому, что он познает и изображает в соответствии со своими идейно-творческими задачами... Но откуда берутся цели, которые ставит перед собой писатель, скульптор, композитор — каждый художник, создавая произведение искусства? — спрашивает академик А. Г. Егоров.— Эти цели в конечном счете порождены обществом, эпохой, в которую он живет. Да и сам художник — продукт определенных социальных отношений. Его эстетические взгляды и суждения есть отражение действительности, условий социальной жизни... Оттого-то произведения великих художников — всегда превосходный исторический документ, дающий возможность понять «дух эпохи», борьбу идей и жизненные конфликты той поры, когда они создавались» [1961, с. 53].

В чем же состоит позитивное значение экспериментов с ЭВМ в области познания искусства? Оно сводится, на наш взгляд, к следующему.

Во-первых, создаются модели вероятностно-статистических связей в отдельных фрагментах литературных и нотных текстов, результаты которых успешно используются в текстологических исследованиях.

Во-вторых, проверяются некоторые правила композиции и формообразования путем их формализации и алгоритмизации. Машинный «синтез» позволяет проверить успешность этой формализации, так как дает возможность сравнивать результаты программирования с исходными образцами и, следовательно, раскрывать в машинном эксперименте ошибки моделирования и искать новые алгоритмические средства для их устранения. Возможно, что когда-нибудь полнота и богатство изученных и формализованных правил композиции и стихосложения позволят машинным «синтезам» стать и объектом эстетического восприятия [см.: Митрофанов А. С., 1971(б), с. 157—158]. Пока же об этом говорить преждевременно.

В-третьих, информационное моделирование позволяет нам лучше осознать трудность формализации и алгоритмизации суперсложных знаковых структур из области искусства, выявить те их элементы, которые пока не удается запрограммировать. Это неизбежно будет толкать исследователей к разработке новых методов теоретического анализа явлений искусства.

В-четвертых, сложные и сверхсложные знаковые структуры как элементы внешней формы художественных произведений [о понятиях внутренней и внешней формы отображения см.: Тюхтин В. С., 1972, гл. 4] являются для кибернетиков-программистов той конкретной предметной областью, опираясь на изучение которой они могут создавать все более сложные и богатые по своим возможностям языки программирования. Эвристическую роль искусства при этом трудно переоценить. Ведь другие формы человеческой деятельности, не имеющие такой наглядно выраженной в знаковой форме структуры, не могли бы стать объектом модельного исследования уже на первых порах создания «искусственного интеллекта». А. Степанов, У. Рейтман, Р. Х. Зарипов и другие кибернетики никогда не смогли бы в такие короткие сроки создать своих ценных в логико-математическом отношении программ, если бы они моделировали иные виды систем.

В-пятых, кибернетика, вплотную стыкуясь с музыковедением и литературоведением, стимулирует возникновение в этих древних науках новых математизированных направлений исследования (аналогично тому, как это произошло в политической экономии, лингвистике и других общественных науках). В перспективе сами кибернетико-информационные исследования станут осуществляться в рамках конкретных искусствоведческих наук.

И, наконец, в-шестых, анализ отношений между кибернетикой и искусством на современном этапе показывает, что у нас нет пока никаких оснований низводить творческую деятельность человека в сфере искусства до бессознательных информационно-вы-

числительных процессов, подобных тем, что реализуются в ЭВМ. Это понял в конце своего жизненного пути отец кибернетики и один из творцов «мифа о думающих машинах» Норберт Винер. Вот что он писал в своей последней книге:

«Вряд ли можно считать, что мозг в сравнении с современными вычислительными машинами не имеет определенных преимуществ, связанных с его огромным функциональным диапазоном.

Главное из этих преимуществ, по-видимому, способность мозга оперировать нечетко очерченными понятиями. В таких случаях вычислительные машины, по крайней мере в настоящее время, почти не способны к самопрограммированию. Между тем наш мозг свободно воспринимает стихи, романы, картины, содержание которых любая вычислительная машина должна была бы отбросить, как нечто аморфное.

Отдайте же человеку — человеческое, а вычислительной машине — машинное. В этом и должна, по-видимому, заключаться разумная линия поведения при организации совместных действий людей и машин. Линия эта в равной мере далека и от устремлений машинопоклонников, и от воззрений тех, кто во всяком использовании механических помощников в умственной деятельности усматривает кощунство и принижение человека» [Винер Н., 1966, с. 82—83].

Технократический оптимизм, пропагандируемый на Западе, зиждется лишь на совершенствовании программных средств ЭВМ и не учитывает совершенствования аппаратных средств, качественное преобразование которых возможно на основе глубокого знания биологии и психологии. Современные аппаратные средства ЭВМ (второго, третьего поколений и даже проектируемого четвертого) способны реализовать лишь логико-синтаксический уровень формализации мыслительной деятельности, а это самый верхний и самый простой уровень. Качественно иные и более глубокие уровни мышления и психики невозможно формализовать без знания законов самоорганизации, внутренней активности биологических и социальных систем, которые еще не познаны [см. статью В. С. Тюхтина в этой книге]. Решать эти объективные трудности одними оптимистическими декларациями «принципиальных возможностей» бесполезно. Здесь необходимы совместные исследования представителей разных наук. Ведь все реальные успехи кибернетики были обусловлены теснейшим творческим содружеством кибернетиков с физиками-атомщиками, механиками, математиками, логиками, химиками-органиками, биологами, инженерами-технологами, экономистами и другими.

Дальнейший прогресс кибернетического моделирования деятельности в области искусства и художественного мышления зависит от того, насколько дружным будет союз математиков-программистов с учеными, исследующими сложные динамические целенаправленные и целеполагающие системы; ибо человека как субъекта творческой деятельности невозможно смоделировать без

глубокого знания физиологии высшей нервной деятельности, нейрофизиологии, нейропсихологии, генетики, биофизики, биохимии, психологии, логики, социологии, политэкономии, педагогики, этики и эстетики, а также общей и частных теорий искусств, философским и методологическим основанием которых является диалектический и исторический материализм.

Литература

Адамян А. Статьи по эстетике. Ереван, 1967.

Анохин П. К. Философский смысл проблемы естественного и искусственного интеллекта. «Вопросы философии», 1973, № 6.

Асафьев Б. Избранные труды, т. 5, М., 1963.

Асафьев Б. (*Игорь Глебов*). Музыкальная форма как процесс. М., 1971.

Барабаш Ю. Вопросы эстетики и поэтики. М., 1973.

Басин Е. Я. Семантическая философия искусства. М., 1973.

Блок А. Стихотворения и поэмы, т. I, Л., 1961.

Блок В. Об эстетических предпосылках взаимоотношения кибернетики и музыки.— В сб.: Эстетические очерки. М., 1967.

Блок В. Уровни бодрствования и внимание.— В кн.: *Фресс П., Пиаже Ж.* Экспериментальная психология. М., 1970.

Брайнес С. Н., Свечинский В. Б. Проблемы нейрокибернетики и нейробионики. М., 1968.

Брунов Н. И. Памятники афинского Акрополя. Парфенон и Эрехтейон. М., 1973.

Бунге М. Интуиция и наука. М., 1967.

Винер Н. Творец и робот. М., 1966.

Возможное и невозможное в кибернетике. М., 1963.

Воробьев Л. Послесловие к кн.: *Натев А.* Искусство и общество. М., 1966.

Гегель Г. В. Ф. Работы разных лет, т. 2, М., 1971.

Гей Н. К. Художественность литературы. Поэтика. Стиль. М., 1975.

Горанов К. Художественное произведение и его социально-психологические измерения. — В сб.: Вопросы эстетики. Вып. 9. М., 1971.

Гутчин И. Б. Кибернетические модели творчества. М., 1969.

Гутчин И. Б. Кибернетическое моделирование произведений искусства.— В сб.: Искусство и научно-технический прогресс. М., 1973.

Денисов Э. В. Музыка и машины.— В сб.: Художественное и научное творчество. Л., 1972.

Егоров А. О реакционной сущности современной буржуазной эстетики. М., 1961.

Завадский С. А. Теория и практика «машинного искусства».— В сб.: Искусство и научно-технический прогресс. М., 1973.

Зарипов Р. Х. Кибернетика и музыка. М., 1963.

Зарипов Р. Х. О моделировании мелодий заданного стиля на электронно-вычислительной машине.— В сб.: Проблемы кибернетики, вып. 15, М., 1965.

Зарипов Р. Х. Решение задач по гармонии и анализ гармонизации на цифровой вычислительной машине.— В сб.: Проблемы кибернетики, вып. 18, М., 1967.

Зарипов Р. Х. Кибернетика и музыка. М., 1971.

Зарипов Р. Х. О моделировании художественного творчества. — В кн.: Управление, информация, интеллект. М., 1976.

Зеленов Л А. Процесс эстетического отражения. М., 1969.

Зотов Б. Проблема формы в музыке.— В сб.: «De musika». Пг., 1923.

Ивахненко А. Г. Предисловие редактора перевода кн.: *Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М.* Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. М., 1969.

Ильенков Э. В. Об идолах и идеалах. М., 1968.

Каган М. С. Морфология искусства. Л., 1972.
Кандинский В. О духовном в искусстве. Нью-Йорк, 1967.
Кедров Б. М. Предмет и взаимосвязь естественных наук. М., 1967.
Кожинов В. В. Слово как форма образа.— В сб.: Слово и образ. М., 1964.
Конен В. Театр и симфония. М., 1975.
Копнин П. В. Введение в марксистскую гносеологию. Киев, 1966.
Копнин П. В Философские идеи В. И. Ленина и логика. М., 1969.
Корыхалова Н. Музыкальное произведение и «способ его существования». «Советская музыка», 1971, № 7.
Кочергин А. Н. Моделирование мышления. М., 1969.
Крон А. А. Процесс, а не результат.— В сб.: Точные методы в исследованиях культуры и искусства, ч. I, М., 1971.
К спорам о природе искусства. «Художник», 1974, № 11-12.
Кузнецов О. Н., Лебедев В. И. Психология и психопатология одиночества. М., 1972.
Кучаев Л. С. Предисловие к русскому переводу кн.: *Джини К.* Логика в статистике. М., 1973.
Леви-Стросс К. Из книги «Мифологичные. I. Сырое и вареное».— В сб.: Семиотика и искусствометрия. М., 1972.
Леонтьев А. Психология. «Философская энциклопедия», т 4. М., 1967.
Лурия А. Р. Высшие корковые функции человека. М., 1969.
Мазель Л. А. О системе музыкальных средств и некоторых принципах художественного воздействия музыки.— В сб.: Интонация и музыкальный образ. М., 1965.
Мазель Л. А., Цуккерман В. А. Анализ музыкальных произведений. М., 1967.
Мак-Каллок У. С., Питтс В. Логическое исчисление идей, относящихся к первной активности.— В сб.: Автоматы. М., 1956.
Малышев И. К определению понятия «музыкальное произведение».— В сб.: Эстетические очерки, вып. 3, М., 1973.
Материалист. Кому служит кибернетика. «Вопросы философии», 1953, № 5.
Митрофанов А. С. Гносеологические проблемы информационного моделирования мышления. «Философские науки», 1971(а), № 1.
Митрофанов А. С. О структуре художественного мышления и попытках его моделирования.— В сб.: Методологические вопросы общественных наук. Методологические аспекты структурно-функционального анализа в обществознании, вып. 2, М., 1971(б).
Митрофанов А. С. Структурно-функциональный анализ процесса производства в условиях научно-технической революции.— В сб.: Социальные аспекты научно-технической революции. М., 1973.
Михайлов Дж. О музыкальной африканистике.— В сб.: Очерки музыкальной культуры народов тропической Африки. М., 1973.
Можнягун С. Абстракционизм — разрушение эстетики. М., 1961.
Моль А. Теория информации и эстетическое восприятие. М., 1967.
Моль А. Искусство и ЭВМ.— В кн.: *Моль А., Фукс В., Касслер М.* Искусство и ЭВМ. М., 1975.
Натев Л. Искусство и общество. М., 1966.
Нейман Дж. фон. Общая и логическая теория автоматов.— В кн.: *Тьюринг А.* Может ли машина мыслить? М., 1960.
Нейман Дж. фон Теория самовоспроизводящихся автоматов. М., 1971.
Новик И. Б Кибернетика. Философские и социологические проблемы. М., 1963.
Новиков А. А. Специфика «интуитивного знания» и некоторые проблемы психического отражения. Автореф. канд. дисс. М., 1972.
Папуш М. К анализу понятия мелодии.— В сб.: Музыкальное искусство и наука, вып. 2, М., 1973.
Пекелис В. Кибернетическая смесь. М., 1970.
Петров Ю. А. Математическая логика и материалистическая диалектика (проблемы логико-философских оснований и обоснований теорий). М., 1974.

Полетаев И. А. «Трудный период» кибернетики и американские роботы.— В сб.: Человеческие способности машин. М., 1971.
Пономарев Я. А. Психика и интуиция. М., 1967.
Раппопорт С. О природе художественного мышления.— В сб.: Эстетические очерки, вып. 2, М., 1967.
Рачков П. А. Науковедение. Проблемы, структура, элементы. М., 1974.
Рейтман У. Познание и мышление. Моделирование на уровне информационных процессов. М., 1968.
Славин А. В. Проблема возникновения нового знания. М., 1976.
Соболев С. Л., Китов А. И., Ляпунов А. А. Основные черты кибернетики. «Вопросы философии», 1955, № 4.
Сохор А. Н. Значение ленинской теории отражения и учения о партийности искусства для музыкальной науки.— В сб.: Учение Ленина и вопросы музыкознания. М., 1969.
Спиркин А. Г Сознание и самосознание. М., 1972.
Степанов А Эксперимент по моделированию структуры полифонической музыки строгого стиля.— В сб.: Эстетические очерки, вып. 2, М., 1967.
Тюхтин В. С. О природе образа (психическое отражение в свете идей кибернетики). М., 1963.
Тюхтин В. С. Отражение, системы, кибернетика. М., 1972.
Украинцев Б. С. Самоуправляемые системы и причинность. М., 1972.
Успенский Б. А О семиотике искусства.— В сб.: Симпозиум по структурному изучению знаковых систем. Тезисы докладов. М., 1962.
Фогель Л., Оуэнс А., Уолш М. Искусственный интеллект и эволюционное моделирование. М., 1969.
Фомин В. Способ существования музыкального произведения и методология сравнительного анализа. Введение в проблему.— В сб.: Музыкальное искусство и наука, вып. 2, М., 1973.
Храпченко М. Б Литература и моделирование действительности.— В сб.: Контекст — 73. М., 1974.
Хренников Т. Н. «Правда», 29 февраля 1976 г.
Человек и вычислительная техника. *Глушков В. М., Брановицкий В. И., Довгялло А. М., Рабинович З. Л., Стогний А. А.* Киев, 1971.
Шалютин С. М. О принципиальных возможностях кибернетического моделирования.— В сб.: Кибернетика, мышление, жизнь. М., 1964.
Шмит Ф. И. Искусство. Основные проблемы теории и истории. Л., 1925.
Шорохова Е. В. Проблема сознания в философии и естествознании. М., 1961.
Шостакович Д. Музыка и время. «Коммунист», 1975, № 7.
Штейнбух К. Автомат и человек. М., 1967.
Яглом А. М., Яглом И. М. Вероятность и информация. М., 1973 (издание третье).

СОДЕРЖАНИЕ

Раздел I

Основные идеи кибернетики и научное познание

Украинцев Б. С. Кибернетика и система новых научных принципов . 7
О статуте кибернетики 7
Принципы кибернетики 10
О системе кибернетических принципов и понятий 16

Бокарев В. А. Понятие управления и его роль в современном научном познании 20
Управление и причинность 22
Система управления 26
Цели управления 32
Управление, сознание, общество 34

Коренев Г. В. Роль понятия цели в теории управления движением тел 38
Цель управления в механике 38
Понятие связи в механике 43
Управляющая связь и цель управления 46
Принцип совместности 49
Конструирование целенаправленного движения 52
Приспособляемость целенаправленного движения 55
Примеры использования основных принципов конструирования движения 58

Заключение 67

Семенюк Э. П. Перерастание важнейших понятий кибернетики в общенаучные категории 69
Категории кибернетики или философии? 69
Недостаточность дихотомического деления категорий в современной науке 71
Общенаучные категории и их эвристическая функция в науке . 77

Абрамова Н. Т. Идеи организации и управления в исследовании сложных систем 82
Об эволюции идей организации и управления 82
Некоторые исходные идеи теории управления 85
Понятие организации в системе научного знания 92

Свинцицкий В. Н. Кибернетический подход в физиологии высшей нервной деятельности 98
Научный статус концепции физиологии активности 99
Об условиях математизации физиологии 102
Методологические предпосылки физиологии активности 105
Теоретические представления физиологии активности 106
Новый этап физиологии высшей нервной деятельности 110

Кремянский В. И. Системы информации как объект исследования . 113
О роли понятия «системность информации» 113
«Метасистемность» информации и понятие гиперструктуры . . 119
Биологические ступени системности информации 121

Мемчур Е. А. Некоторые аспекты системного исследования научного знания 130
Поиски адекватной «клеточки» системы знания 134
Инварианты в системном исследовании знания 143

Раздел II

Методы кибернетики в познавательной деятельности

Сифоров В. И. Методологические вопросы разработки науки об информации 150
Необходимость создания системы научных понятий 150
Условия разработки системы понятий информологии 151
Анализ содержания понятия информации 153
Информология и ее предыстория 156
Взаимосвязь информологии и кибернетики 159
Некоторые тенденции в развитии информологии и кибернетики . 160
Человеческий разум и искусственный интеллект 162

Войшвилло Е. К. Семантическая информация. Понятия экстенсиональной и интенсиональной информации 165
Соотношение понятий статистической и семантической информации. Понятие экстенсиональной информации 167
Понятие интенсиональной информации 175

Ветров А. А. Язык машины (Сопоставительное рассмотрение организованных систем) 179
Язык человека и язык животных 180
Сходство и различие человеческого и машинного языков . . . 183
Специфика машинного «языка» 192

Урсул А. Д. Выбор решения и неопределенность 198
Исследование операций и понятие неопределенности 199
О принципе оптимальности при выборе решения 206

Бирюков Б. В. Алгоритмический подход в науке и концепция расплывчатых алгоритмов 214
Ослабления понятия алгоритма 214
Нечеткие понятия и расплывчатые алгоритмы 222
Формализация нечетких предписаний и «человеческий фактор» . 228
Некоторые психолого-гносеологические аспекты 233

Мамедов Н. М., Новик И. Б. Кибернетическое моделирование и проблемы оптимизации 237
Моделирование и аппроксимация 238
Гносеологическая специфика кибернетических моделей 242
Оптимизация как метапроблема науки 246

Новоселов М. М. О некоторых понятиях теории отношений 253
Логическая модель отношения 254
Алгебраическая модель отношения 255
Сравнимость по отношению. Абстракция сравнимости 257
О суперпозиции отношений 262

Раздел III

Познавательные возможности «искусственного интеллекта»

Тюхтин В. С. Актуальные проблемы теории искусственного интеллекта 269
Постановка вопроса 269

Уровни математизации знания и проблема «искусственного интеллекта» . . . 273
Элементы интуиции в интеллектуальной деятельности . . . 277
Проблема технической реализации смыслового значения . . . 287
Активно-потребностное начало и проблема самоорганизации . . 291

Ласточкин Б. А. Диалектика мысли и формализация . . . 296
Искусственный интеллект и Разум . . . 296
Диалектика развития понятий и формальная логика . . . 299
О путях формализации . . . 306
Становление и диалектическое конструктивное отрицание . . . 311

Тростников В. Н. Методологические аспекты машинного вывода теорем 315
История вопроса . . . 315
Машинный вывод с разных точек зрения . . . 317
Механизм формального вывода . . . 319
Принципы программирования вывода теорем на ЭВМ . . . 324
Процесс познания в целом . . . 328

Орфеев Ю. В. О формальных и неформальных компонентах в решении задач человеком и ЭВМ . . . 333
Законы поведения и мотивы деятельности . . . 335
Проблема машинного перевода и неформализуемые компоненты в естественном языке . . . 338
Распознавание «образов» на ЭВМ и психология восприятия . . 341

Голубинцев В. О., Купаев В. М. Развитие ЭВМ и расширение возможностей научного познания . . . 346
Сущность и информационные возможности ЭВМ . . . 347
Три поколения ЭВМ и их значение . . . 349
О развитии электронно-вычислительной техники . . . 357

Митрофанов А. С. Кибернетика и искусство . . . 360
Опасность упрощения . . . 360
Кибернетика и формализм в искусстве . . . 365
Цели и задачи моделирования искусства . . . 372
Интуиция и творчество . . . 377
Нотный текст и музыка . . . 381
«Парадоксальность» существования произведения искусства . . 385
Моделирование организации нотного текста . . . 398
О методологических просчетах одного эксперимента . . . 404
Кибернетика, идеология, человек . . . 407
Итоги и перспективы моделирования искусства . . . 418

Кибернетика и современное научное познание

Утверждено к печати Институтом философии АН СССР

Редактор *В. А. Шуков.* Художник *И. П. Фролов.*

Художественный редактор *Н. Н. Власик.* Технический редактор *Ф. М. Хенох*

Сдано в набор 3/VII 1975 г. Подписано к печати 18/V 1976 г. Формат 60×90¹/₁₆

Усл. печ. л. 26,75. Уч.-изд. л. 29,8 Тираж 5000 Т-09030. Бумага типографская № 2

Тип. зак. 2572. Цена 1 р. 95 к.

Издательство «Наука». 103717 ГСП, Москва, К-62, Подсосенский пер., 21

2-я типография издательства «Наука». 121099, Москва, Г-99, Шубинский пер., 10

СПИСОК ОПЕЧАТОК И ИСПРАВЛЕНИЙ

Страница	Строка	Напечатано	Должно быть
255	19 св.	$P(x, y)$ $\langle a_i, a_j\rangle$ истинно	$\langle a_i, a_j\rangle$ истинно $P(x, y)$
311	7 св.	$(\forall x \in X)P \rightarrow (\exists x \in X)\bar{P}$	$\overline{(\forall x \in X)P} \rightarrow (\exists x \in X)\bar{P}$
312	16 сн.	$(\forall x \in X)P \leftarrow (\exists x \in X)\bar{P}$	$\overline{(\forall x \in X)P} \rightarrow (\exists x \in X)\bar{P}$
176	12 св.	$P_i\overline{P}_i$	$\overline{P_i\overline{P}_i}$

Заказ № 2572. Кибернетика и современное научное познание.